

Masterarbeit

Optimierungspotenzial des A320 Turnarounds

Markus Schrader

Matrikel-Nr. 399039

Betreuender Dozent: Prof. Dipl.-Ing. M. Bauschat

Korreferent: Dipl.-Ing. Y. Günther, DLR

Danksagung

Die vorliegende Bachelorarbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem DLR in Braunschweig verfasst. Ich danke Herrn Dipl.-Ing. Yves Günther und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Michael Bauschat für das Betreuen dieser Arbeit. Darüber hinaus danke ich Herrn Jörg Lewe für die umfassende Erläuterung meiner Fragen bezüglich des Flugzeugmusters und Sarah Krause für die Unterstützung.

Dank gilt auch meinen Eltern und meinem verstorbenen Opa für das Studium und den dazugehörigen Aufwand.

Danke an meine Freundin Anja und meine Freunde.

Langen, im Januar 2017

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Langen, im Januar 2017

(Vollständige, handschriftliche Unterschrift)

Aufgabenstellung



DLR e. V. Institut für Flugführung
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

An die Fachhochschule Aachen

Name: Yves Günther
Telefon: 0531/2952558
Telefax:
E-Mail: yves.guenther@dlr.de

05. Mai 2016

Thema der Masterarbeit für Herrn Markus Schrader

Herausarbeitung von Optimierungspotentialen bei dedizierten Prozessen des Turnarounds im Vergleich zum Referenzmuster A320

Hintergrund:

Um die Abläufe an Flughäfen zu verbessern, werden im DLR Einsparpotentiale und Optimierungsmöglichkeiten bei verschiedenen Flughafen- und Flugzeug-Prozessabläufen untersucht. Hierzu gehören auch die Abläufe beim Turnaround eines Flugzeuges. Der Turnaround umfasst dabei alle Bodenprozesse, die notwendig sind, um ein gelandetes Flugzeug für den erneuten Abflug vorzubereiten. Im Rahmen des DLR-internen Projektes KonTeKst wird ein neues Kurzstreckenflugzeug entwickelt, bei welchem eine kürzere Turnaround-Zeit angestrebt wird, als die des Referenzmusters A320. Ein Ziel des Projektes ist deshalb die Herausstellung möglicher Optimierungspotentiale beim Ablauf dedizierter Prozesse bzw. von Prozessteilen des Turnarounds, als auch die Untersuchung von Möglichkeiten einzelne Prozesse und deren Abläufe grundlegend zu verändern.

Hierzu gehört auch eine detaillierte Analyse der einzelnen Prozessschritte und der heute gängigen Abläufe im Turnaround, um darauf aufbauend Optimierungspotentiale abzuleiten.

Ziel:

Ziel der Arbeit ist die Herausarbeitung von Optimierungspotentialen bei dedizierten Prozessen des Turnarounds mit der Vorgabe der Verkürzung der Gesamt-Turnaroundzeit ggü. dem Referenzmuster A320. Hierbei sollen sowohl technische, wie auch prozedurale Ansätze erörtert und bewertet werden.

Durchzuführende Arbeiten:

- Darstellung und Beschreibung der Standardabläufe eines A320 Turnarounds,
- Analyse bestehender Konzepte zur Optimierung einzelner Prozesse des Turnarounds,
- Erarbeitung von Optimierungsmöglichkeiten an ein bis zwei zu wählenden Turnaround-Prozessen,
- Bewertung des Optimierungspotentials

Zeitraumen:

Beginn: 12.09.2016
Dauer: 6 Monate
Betreuer: Yves Günther
Institut für Flugführung / Abteilung Luftverkehrssysteme
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Abbildung 1.1: Aufgabenstellung der Masterarbeit

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis.....	IV
	Abbildungsverzeichnis.....	VI
	Diagrammverzeichnis.....	VIII
	Tabellenverzeichnis.....	IX
	Bezeichnungen.....	X
1	Abstract.....	1
2	Einleitung.....	2
3	Airbus A320	4
4	Prozesse des Turnarounds	8
4.1	Der kritische Pfad	12
4.2	Deboarding/Boarding	14
4.3	Service-Prozesse	16
4.4	Be- und Entladen von Gepäck	19
4.4.1	ULD	20
4.4.2	Bulk Cargo.....	24
4.5	Refueling	25
5	Bestehende Optimierungsansätze und deren Bewertung.....	30
5.1	Boarding	30
5.1.1	The Role of Computer Simulation in Reducing Airplane Turn Time	31
5.1.2	Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach.....	33
5.1.3	America West Airlines Develops Efficient Boarding Strategies.....	35
5.1.4	Robustness of Efficient Boarding in Airplanes	36
5.1.5	Optimal boarding method for airline passengers.....	37
5.1.6	Speeding up the airplane boarding process by using pre-boarding areas.....	37
5.1.7	Experimental test of airplane boarding methods	38
5.1.8	The Flying Carpet.....	39
5.1.9	An aircraft boarding model accounting for passengers' individual properties...	39
5.1.10	Analyse der Verzögerungen beim Boarding von Flugzeugen und Untersuchung möglicher Optimierungsansätze.....	40
5.1.11	Foldable Passenger Seat	43
5.2	Zusammenfassung Boarding	44
5.3	Loading/Unloading	53

5.3.1	Ramp Snake	53
5.3.2	Sliding Carpet	54
5.3.3	Airbus Fly Your Ideas	55
5.3.4	Patent automatisch ausrichtender Cargo Loader	56
5.3.5	Patent Aircraft Cargo Locating System.....	57
5.3.6	Patent Aircraft Load Management System For Interior Loads	58
5.3.7	Patent Fully Automated Cargo Loading System	59
5.4	Zusammenfassung Loading/Unloading.....	60
5.5	Catering	62
5.5.1	Belly Catering.....	63
5.6	Flugzeugentwürfe	65
5.6.1	ALOHA	65
5.6.2	Enhancement of Aircraft Cabin Design Guidelines with Special Consideration of Aircraft Turnaround and Short Range Operations.....	66
6	Eigene Optimierungsansätze	70
6.1	Ablagefach für großes Handgepäck	70
6.2	Smartphone-App zur Unterstützung des Boardings	77
6.3	Identifikation von Gepäck	82
6.4	Autonomeres Cargo Compartment	86
7	Fazit	88
8	Ausblick.....	89
9	Literaturverzeichnis	92
10	Anhang.....	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Aufgabenstellung der Masterarbeit	III
Abbildung 3.1:	Airbus A320-200 der Lufthansa	4
Abbildung 3.2:	Querschnitt des A320 und der Boeing 737 [4]	6
Abbildung 3.3:	Unterschiedliche A320 Konfigurationen [6]	7
Abbildung 4.1:	CLS Aft Cargo Compartment (in Anlehnung an [22])	21
Abbildung 4.2:	Anordnung von Gepäcknetzen im Frachtraum für Bulk Cargo [24]	24
Abbildung 5.1:	Übersicht der Boarding-Verfahren (in Anlehnung an [28])	31
Abbildung 5.2:	Mögliche Verkürzungen der Turnaround-Zeit [29]	32
Abbildung 5.3:	Aisle (links) und Seat Interference (rechts) [28]	35
Abbildung 5.4:	Klappbarer Passagiersitz von Sii Engineering [37]	43
Abbildung 5.5:	Boeing 737 Space Bins und standardmäßige Overhead-Bins [45]	50
Abbildung 5.6:	Power Stow in einer Embraer 170/190 [47]	54
Abbildung 5.7:	Sliding Carpet [49]	55
Abbildung 5.8:	Luggage floating on air ©Airbus SAS 2016 – All rights reserved	56
Abbildung 5.9:	Automatic Level Device [52]	57
Abbildung 5.10:	Prinzipskizzen des Cargo Locating Systems [53]	58
Abbildung 5.11:	Aircraft Load Management System [54]	59
Abbildung 5.12:	Vorschlag für eine Trolley-Lift-System [58]	63
Abbildung 5.13:	Cargo compartments des A320 [6]	64
Abbildung 6.1:	Lufthansa A320 Sitzplan mit Galley für Umbau [59]	70
Abbildung 6.2:	Entwurf eines zusätzlichen Ablagefachs	72
Abbildung 6.3:	Untere Ablagefächer mit jeweils neun Handgepäckstücken pro Etage ...	73
Abbildung 6.4:	Kabine der ATR 72-600 [62]	74
Abbildung 6.5:	Boarding und Reservierung eines Ablagefachs mittels App	79
Abbildung 6.6:	Overhead-Bin mit Reservierung (Bild ursprünglich aus [65])	81
Abbildung 6.7:	Rimowa Electronic Tag [68]	83
Abbildung 6.8:	Vorstellung von Augmented Reality im Frachtraum (Bild ursprünglich aus [47])	84
Abbildung 6.9:	Optimale Anordnung des Gepäcks unter Berücksichtigung des Gewichts (Bild in der Mitte ursprünglich aus [47])	85
Abbildung 6.10:	Autonomes Cargo Compartment	87
Abbildung 8.1:	Airbus Patent US9,193,460 B2 für eine abnehmbare Passagierkabine ...	90

Abbildung 8.2:	Konzept Drive Through Airport (rechts) im Vergleich zum normalen Flughafen-Layout (links) [70]	91
Abbildung 10.1:	Airbus A320 Ground Support Equipment Abkürzungen	97
Abbildung 10.2:	A320 Servicing Arrangements Apron Bulk Loading [6]	98
Abbildung 10.3:	A320 Servicing Arrangements Apron ULD Loading [6]	99
Abbildung 10.4:	A320 Servicing Arrangements Gate ULD Loading [6]	100
Abbildung 10.5:	Ablauf des Turnarounds [12] (in Anlehnung an [26]).....	101
Abbildung 10.6:	Einflüsse auf Boarding-Methoden im Vergleich zu Back-To-Front [12].....	102
Abbildung 10.7:	Cargo Compartment Service Panel [18]	103
Abbildung 10.8:	Reverse Pyramid Boarding für America West Airline [31]	105
Abbildung 10.9:	Steffen Methode [33].....	105
Abbildung 10.10:	Modifizierte Steffen Methode [33].....	106
Abbildung 10.11:	Skizze des zusätzlichen Gepäckfachs	107

Diagrammverzeichnis

Diagramm 4.1:	Kernprozesse des Turnarounds (in Anlehnung an [8]).....	8
Diagramm 4.2:	Flughafen- und Bodenabfertigungskosten über Turnaround-Zeit [9]	9
Diagramm 4.3:	Anzahl der Flüge über durchschnittliche Flugdistanz [10]	10
Diagramm 4.4:	Airbus A320 Outstation Turnaround Time Chart [6].....	12
Diagramm 4.5:	Airbus A320 Full Service Turnaround Time Chart [6]	14
Diagramm 4.6:	Flussdiagramm des Boardings in der Kabine [12]	15
Diagramm 4.7:	Subprozesse zum Öffnen der Cargo Compartment Türen [18].....	19
Diagramm 4.8:	Teilprozesse zum Entladen des Aft Cargo Compartments [22]	22
Diagramm 4.9:	Teilprozesse zum Beladen des Aft Cargo Compartments [22]	23
Diagramm 4.10:	Refueling Time eines Airbus A320 [16]	28
Diagramm 5.1:	Zunahme der Boarding-Zeit durch mehr Handgepäck bei starker Auslastung [30].....	34
Diagramm 5.2:	Einfluss von Parametervariationen auf das Boarding [12].....	41
Diagramm 5.3:	Flussdiagramm des Entladeprozesses [55]	60
Diagramm 5.4:	Verteilung der Verspätungszeiten nach Verspätungsklassen [5]	61
Diagramm 5.5:	Einfluss von großen Gepäckstücken auf das Boarding [9]	67
Diagramm 5.6:	Einfluss von Smartness und Gangbreite auf das Boarding [9].....	68
Diagramm 5.7:	Deboarding und Boarding über 2 Türen [9]	69
Diagramm 10.1:	Boarding-Dauer bei unterschiedlicher Auslastung [30]	104

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Airbus Referenzzeit für das Be- und Entladen von Containern [6].....	20
Tabelle 5.1:	Handgepäcksverteilung unter verschiedenen Auslastungen [30].....	33
Tabelle 5.2:	Übersicht der Optimierungsansätze des Boardings	45
Tabelle 5.3:	Einsparpotenzial durch Boarding-Verfahren [40]	47
Tabelle 5.4:	Maximal zulässiges und durchschnittliches Gewicht für Handgepäck (Stand: Mai 2009) [43]	49
Tabelle 5.5:	Passagierparameter des Referenzsystems von ASSET [12].....	51
Tabelle 5.6:	Boarding Zeit bei Veränderung des Handgepäcks (in Anlehnung an [40])	51
Tabelle 5.7:	Prozesszeiten für verschiedene Passagierattribute im Referenzsystem von ASSET [12]	52

Bezeichnungen

Abkürzungen

<i>A-CDM</i>	Airport Collaborative Decision Making
<i>AC</i>	Advisory Circulars
<i>ASSET</i>	Aeronautic Study on Seamless Transport
<i>CLS</i>	Cargo Loading System
<i>CS</i>	Certification Specification
<i>DOC</i>	Direct Operating Costs
<i>FAA</i>	Federal Aviation Administration
<i>FCOM</i>	Flight Crew Operating Manual
<i>FMGS</i>	Flight Management and Guidance Computers
<i>GOM</i>	Ground Operations Manual
<i>IATA</i>	International Air Transport Association
<i>MGT</i>	Minimum Ground Time
<i>NTSB</i>	National Transportation Safety Board
<i>PEDS</i>	Passenger Enplane/Deplane Simulation
<i>RFID</i>	Radio-Frequency Identification
<i>ULD</i>	Unit Load Device

1 Abstract

Diese Masterarbeit analysiert die Zusammenhänge des Turnarounds beim Flugzeugmuster Airbus A320. Die nötigen Prozesse, um ein Flugzeug nach der Landung für den nächsten Flug vorzubereiten, werden als Turnaround bezeichnet. Durch das Aufführen und Analysieren aller Einzelprozesse werden Engpässe herausgearbeitet. Bestehende Optimierungsansätze wurden recherchiert und dokumentiert, sowie deren Umsetzbarkeit in einem Kurzstreckenflugzeug untersucht und bewertet. Skizzen und Abbildungen dienen dazu eigene Ideen für die Optimierung des Boardings und des Beladens mit Gepäck vorzustellen und zu präzisieren. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen und die immer stärkere Vernetzung von allen Beteiligten für den immer schnelleren Informationsaustausch gegeben.

2 Einleitung

Für die Fluggesellschaften bietet der Turnaround ein großes Optimierungspotenzial hinsichtlich Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Entscheidende Kriterien sind die benötigte Zeit für Prozesse und deren Stabilität. Im Jahr 2015 wurden 36,2 %¹ der Abflugverspätungen bei dem Turnaround ausgelöst. Kommt es zu Verspätungen, so assoziiert der Kunde diese mit der Airline, obwohl diese möglicherweise nicht dafür verantwortlich ist. Erörtert wird der Turnaround am Beispiel des Airbus A320, ein Standardrumpfflugzeug für Kurz- und Mittelstrecken-Flüge. Abschnitt 3 befasst sich detailliert mit diesem Flugzeugmuster.

In den nächsten 20 Jahren besteht ein Bedarf von 23.530 neuen Flugzeugen dieser Klasse. [1] Kontinuierlich werden immer mehr Sitze in diese Flugzeugklasse eingebaut, was die benötigte Zeit zum Deboarding und Boarding erhöht. Jede Minute, die das Luftfahrzeug zwischen den Flügen am Boden verbringt, kostet die Airline schätzungsweise zwischen 27 €² und 224 €³.

Ziel dieser Abschlussarbeit ist die genaue Analyse der in Abschnitt 4 vorgestellten Teilprozesse des Turnarounds. Dabei steht das Flugzeug und dessen Einbindung in die Prozesse im Mittelpunkt. Dies stellt eine Vereinfachung dar, weil für einen schnellen Turnaround alle Beteiligten optimal miteinander arbeiten müssen. Dazu zählen die Airlines, der Flughafen und viele andere Unternehmen, die am Turnaround beteiligt sind. Eine optimale Koordination hängt also stark von vielen Einflussfaktoren ab und kann deshalb nur bedingt in dieser Arbeit optimiert werden. Ursache für eine Verspätung kann schon ein Passagier mit eingeschränkter Mobilität sein, durch den sämtliche vorher bestimmte Prozesszeiten der Airline überschritten werden.

Deshalb wurden einige Einschränkungen für diese Arbeit getroffen. Nicht betrachtet werden sollen Verzögerungen im Turnaround durch:

¹ Performance Review Report 2015, Eurocontrol

² [40]

³ [26]

- **Personalmanagement des Bodenpersonals**
- **Gepäckabfertigung des Flughafens**
- **Wettereinflüsse**
- **Mit der Flugzeug-Position verbundene Prozessabläufe (längere Anfahrtszeiten, kein Betanken mit Passagieren an Bord)**
- **Überfüllung des Vorfelds**
- **Austausch von Teilen der Crew (Briefings, Fuelmeldung)**
- **Defekte am Flugzeug**
- **Passagiere mit reduzierter Mobilität**
- **Selten auftretende Ereignisse (medizinische Zwischenfälle, Defekte an Service-Fahrzeugen, ...)**

Es wurde deshalb versucht, mögliche Optimierungsansätze zu wählen, welche zu einer verkürzten Turnaround-Zeit führen und von möglichst vielen Airlines eingesetzt werden können. Dazu wurden bereits durchgeführte Untersuchungen in Abschnitt 5 analysiert und auf deren Ergebnisse in Abschnitt 6 mit eigenen Ideen aufgebaut.

Der Schwerpunkt wurde auf das Verstauen des Handgepäck während des Boardings gelegt. Der Prozess des Deboardings und Boardings ist für den Turnaround wichtig, da er auf dem kritischen Pfad liegt und zusammen mit dem Be- und Enladen des Gepäcks einen der längsten Prozesse darstellt. Aktuell führt der Ablauf des Boardings zu unerwünschten Verzögerungen und könnte durch den in Abschnitt 6.1 vorgestellten Umbau effizienter gestaltet werden. In Kombination mit der in Abschnitt 6.2 beschriebenen Smartphone-App zum Leiten der Passagiere sind weitere Verbesserungen möglich.

Der erweiterte Einsatz von RFID-Chips (Radio-Frequency IDentification) für Gepäck wird in Abschnitt 6.3 beschrieben. Zusätzliche Informationen könnten dem Gepäckabfertiger beim Beladen des Frachtraums helfen. Das Auffinden von Gepäckstücken vereinfacht sich ebenfalls. Im Frachtraum ergeben sich für die Prozesse des Be- und Entladens Möglichkeiten der Automatisierung, welche in Abschnitt 6.4 vorgestellt werden. Weiteres Optimierungspotenzial wird durch das Zusammenführen dieser Ansätze gezeigt.

3 Airbus A320



Abbildung 3.1: Airbus A320-200 der Lufthansa

Der Airbus A320 ist ein zweistrahliger Kurz- und Mittelstreckenflugzeug, das als Basis für die A320 Familie dient. Der Erstflug dieses Typs fand am 22. Februar 1987 statt. Für den europäischen Hersteller Airbus war es, nach den beiden Großraumflugzeugen Airbus A300 und A310, das erste Standardrumpfflugzeug. Bis August 2016⁴ wurden insgesamt über 12.000 Exemplare der A320 Serie bestellt, wovon bereits über 7.000 ausgeliefert wurden. Damit gehören die Mitglieder der A320 Familie zu den am meisten verkauften zivilen Flugzeugen. Die Airbus A320 Familie (A318, A319, A320 und A321) unterscheidet sich in der Rumpflänge, besitzt aber den gleichen Rumpfquerschnitt. Auch das Cockpit, Type Rating und Wartung sind

⁴ Angaben von www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/ am 13.09.2016

weitestgehend identisch. Das senkt die Betriebskosten und bietet für die Airlines einen flexibleren Einsatz des benötigten Musters.

Bis zu 150 Passagiere finden in einer typischen Zweiklassen-Kabine des A320 einen Sitzplatz, bis zu 180 in einer Einklassen-Kabine. [2] Mit der Einführung des A320neo und A320ceo wurde die Kapazität noch einmal auf bis zu 165, respektive 189 Passagiere, erhöht. Dies war möglich, da die Notausgänge und Notrutschen die Mindestanforderungen der Zulassungsbehörden übertrafen. Die Standardbreite von 46 cm pro Sitz bleibt unverändert (siehe Breite Sitz Konfiguration Abbildung 3.3). [3]

Im Vergleich der Querschnitte der Boeing 737 und 757 aus Abbildung 3.2 fallen die größeren Abmessungen der Passagierkabine und des Frachtraums auf. Dieser ermöglicht neben der Beladung mit losen Gepäckstücken auch den Transport von Containern, sogenannte Unit Load Devices (*ULD*), und Paletten. Der Airbus A320 war das erste Standardrumpfflugzeug - auch als Single-Aisle bezeichnet - ein Flugzeug mit einem Mittelgang, bei dem eine Containerbeladung im unteren Frachtraum möglich war.

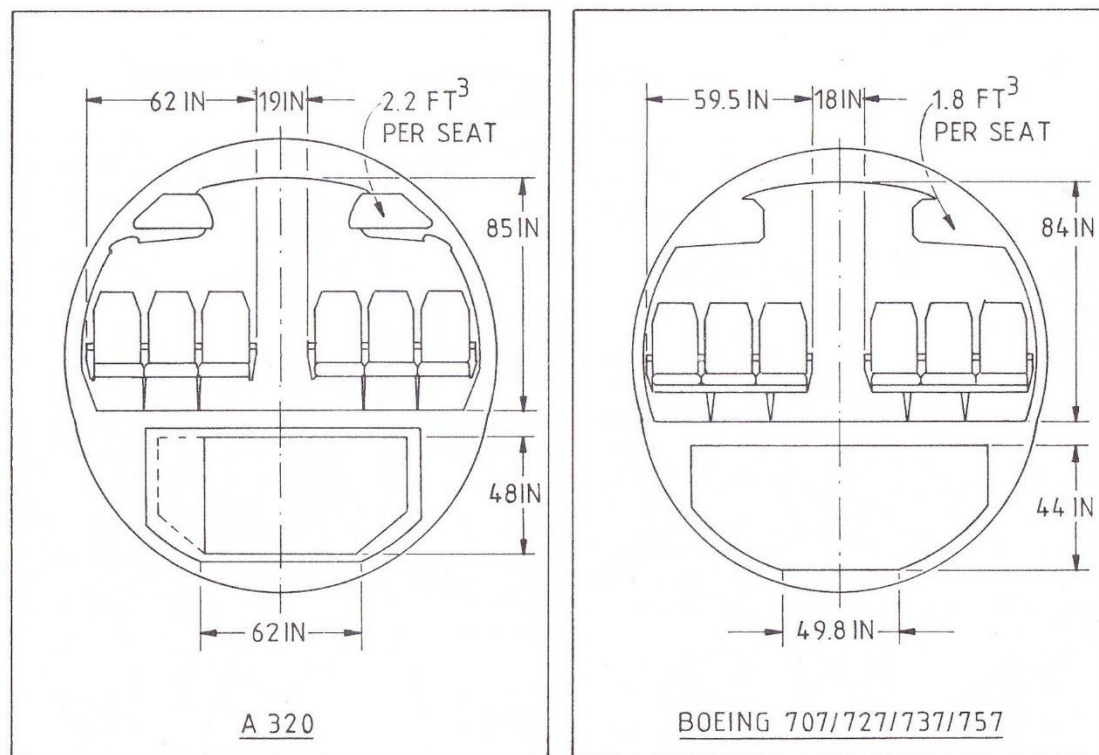


Abbildung 3.2: Querschnitt des A320 und der Boeing 737 [4]

Der vergrößerte Frachtraum soll die Arbeit der Gepäckabfertiger erleichtern und so eine schnellere Abfertigung ermöglichen (Vergleich Abschnitt 4.4). [2] Getrennt werden die beiden Compartments durch den Flügelkasten und das Fahrwerk.

Der Rumpf verfügt über 4 Türen mit den Maßen 81 cm x 185 cm, was ungefähr dem Typ B⁵ der Certification Specification (CS) 25.807 entspricht. Dabei werden die linken Türen (L1 und L2) für die Passagiere genutzt, während die Rechten (R1 und R2) meistens für das Catering und Cleaning verwendet werden. [4] [5] Zusätzlich befinden sich auf jeder Rumpfseite zwei Notausgänge über den Tragflächen, welche ungefähr den Abmessungen des Typ III⁶ entsprechen. Im Gegensatz zum A321 verfügt der A320 über keine „Quarter-Doors“. Dadurch kann Gewicht, erhöhter Widerstand bei Dichtungsverschleiß und eine potentielle undichte

⁵ Typ B: 81,3 cm x 182,9 cm, Radius kleiner gleich 17,8 cm

⁶ Typ III: 51 cm x 91,4 cm, Radius kleiner gleich 17,8 cm

Stelle der Druckkabine⁷ eingespart werden. Man verliert jedoch auch die Möglichkeit eines kürzeren Boarding- bzw. Deboardings (Vergleich Abschnitt. 5.1.1).

Neben der Standard Sitzbreite von 46 cm gibt es auch eine Bestuhlung mit einem 16 cm breiteren Gang (siehe Abbildung 3.3). Dieser soll für eine kürzere Turnaround Zeit sorgen. [2] Eine genauere Betrachtung folgt in Kapitel 4.2 Deboarding/Boarding.

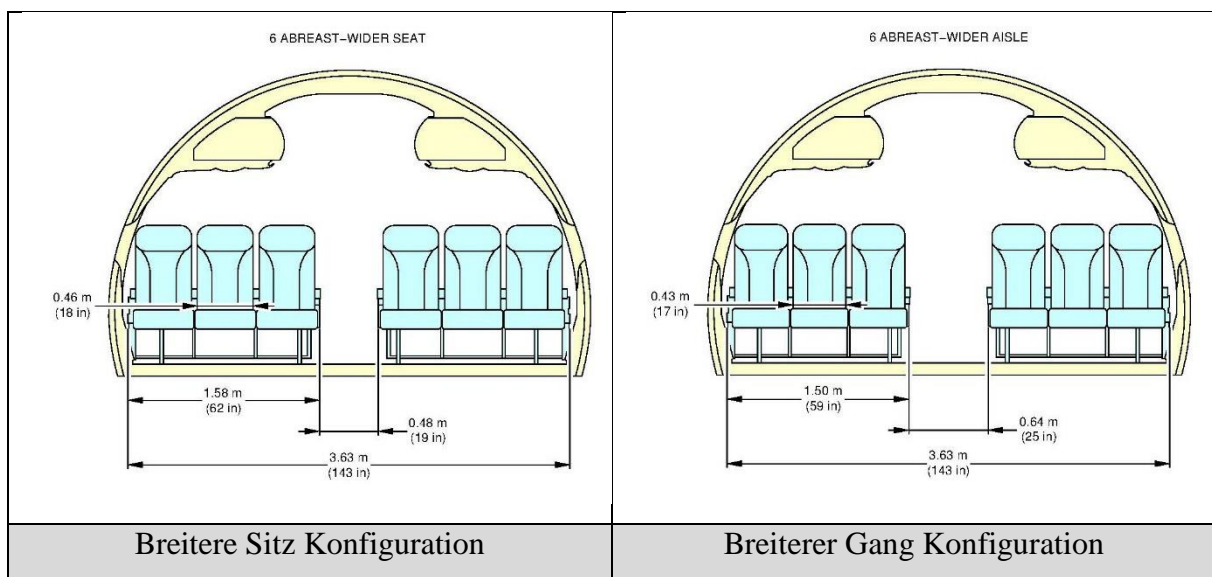


Abbildung 3.3: Unterschiedliche A320 Konfigurationen [6]

⁷ Vgl. Roskam, Jan: Airplane Design Part III, S.69

4 Prozesse des Turnarounds

“The ‘turnaround’ of an aircraft at an airport gate is defined as the procedure to provide required services (such as catering, cabin cleaning and fueling) to an aircraft in order to carry out a following flight to another destination airport” (Wu/Caves 2004: 27)

Neben der oben genannten Definition wird im IATA Airport Handling Manual die Zeit als Turnaround bezeichnet, in der ein Flugzeug eine Parkposition blockiert (ausgenommen Enteisen auf Position). Der Prozess beginnt mit dem Platzieren der Bremsklötze unter den Reifen des Flugzeugs (On Blocks) und endet mit dem Wegnehmen der Klötze (Off Blocks) (siehe Diagramm 4.1). [7]

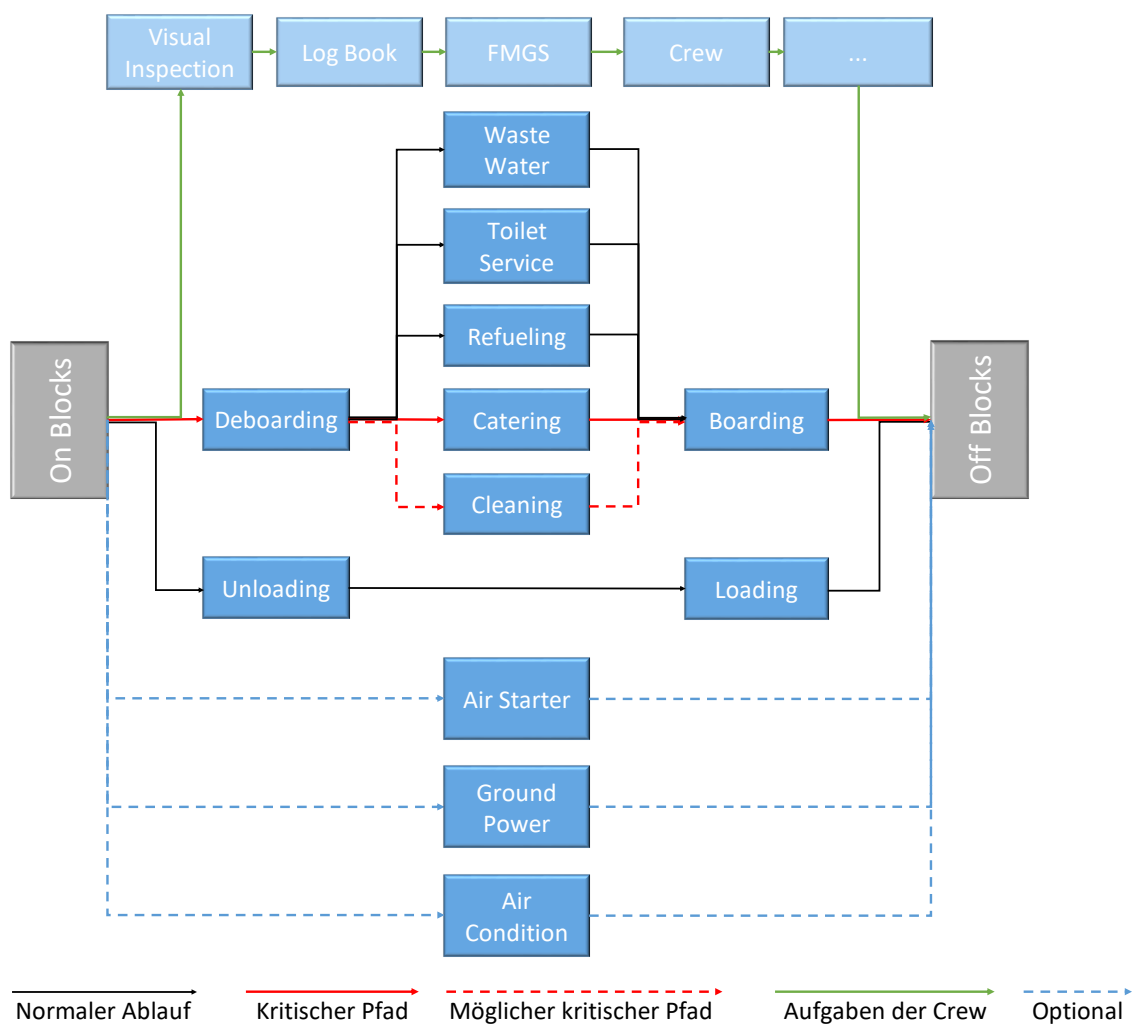


Diagramm 4.1: Kernprozesse des Turnarounds (in Anlehnung an [8])

Die Turnaround Zeit spielt, vor allem bei Kurzstreckenflugzeugen, eine entscheidende Rolle, weil sie für eine Vielzahl an Flügen pro Tag eingeplant werden. Kann die Turnaround Zeit verkürzt werden, so kann das Luftfahrzeug für zusätzliche Flüge eingesetzt werden. Dadurch wird das Flugzeug profitabler, sofern die zusätzlichen Kosten für einen Flug niedriger als die Erlöse daraus sind. Voraussetzung dafür ist, dass genügend Slots für einen zusätzlichen Flug vorhanden sind. Die „Direct Operating Costs“ (DOC) hängen direkt mit dem Turnaround zusammen, da die Gebühren für die Bodenabfertigung teilweise zeitabhängig sind. Der Zusammenhang zwischen dem Turnaround und den Kosten aus Bodenabfertigung und den Flughafengebühren wird in Diagramm 4.2 exemplarisch dargestellt. [9]

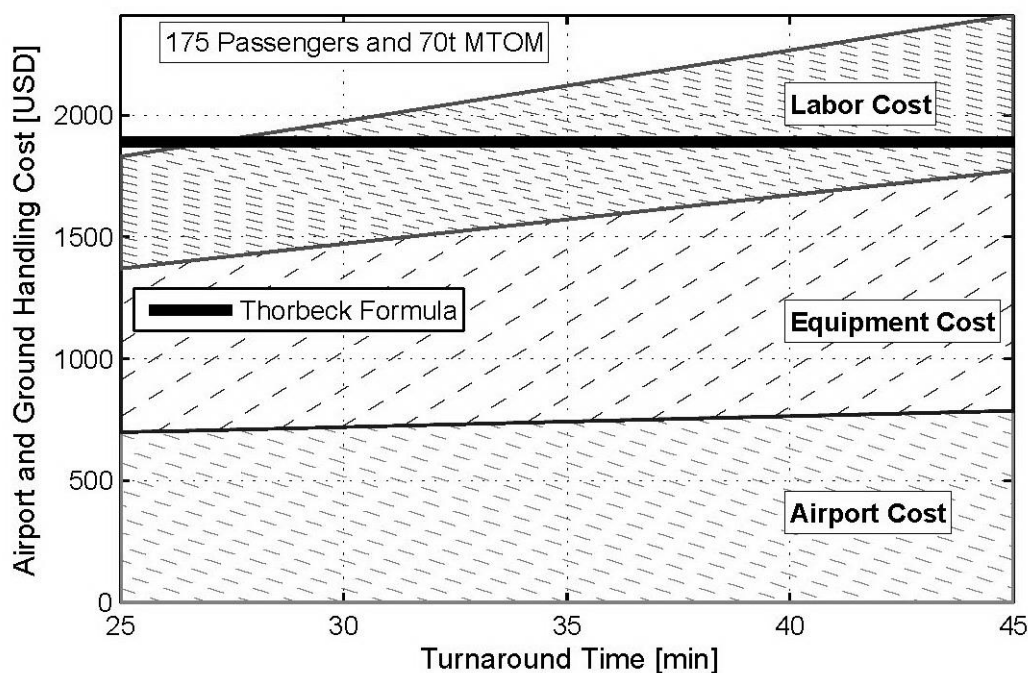


Diagramm 4.2: Flughafen- und Bodenabfertigungskosten über Turnaround-Zeit [9]

Der Unterschied zwischen möglicher Nutzung des Flugzeugs und tatsächlicher Nutzung wird in Diagramm 4.3 deutlich. Airplane Availability ist die Gesamtzeit abzüglich der nötigen Wartung und Instandhaltung. Die tatsächliche Nutzung wird durch die gestrichelten Linien abgebildet, welche der Airplane Availability multipliziert mit einem Network Efficiency Faktor entspricht. Dieser Faktor ist per Definition kleiner als 100 % und beinhaltet unter anderem die ungleiche Auslastung zwischen Tag und Nacht sowie Einschränkungen durch Flugplan-Slots.

Ebenfalls zu sehen sind die durchschnittlichen Turnaround Zeiten und deren Einfluss auf die jährliche Anzahl an Flügen.

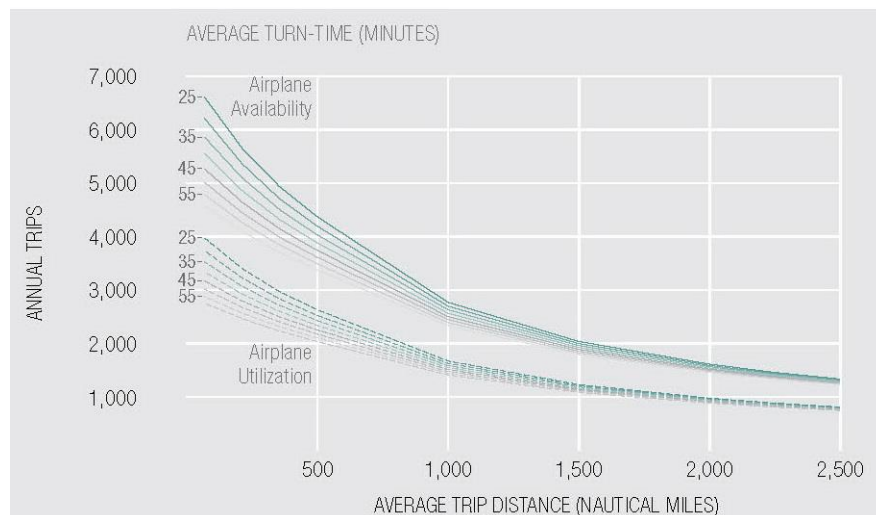


Diagramm 4.3: Anzahl der Flüge über durchschnittliche Flugdistanz [10]

Bei Flügen über durchschnittlich 500 nautische Meilen bringt eine Verkürzung der Turnaround-Zeit um 10 Minuten eine 8 % höhere Flugzeugnutzung. Dadurch verringern sich die flugzeugbezogenen Betriebskosten für eine Single-Aisle-Maschine um 2 %. [10]

Um den Einfluss von Störungen auf den Ablauf möglichst gering zu halten, planen Fluggesellschaften gewisse Pufferzeiten in ihren Turnaround ein. Für jede Minute an Pufferzeit werden Kosten in Höhe von 49 €⁸ für einen A320 angenommen. [11] Ziel eines optimierten Turnarounds sollten kürzere Prozesszeiten und robustere Prozesse sein, die unempfindlich gegenüber Störungen sind und sich dadurch besser planen lassen. Dies kann durch ein autonomeres Flugzeug erreicht werden, welches nicht von Verzögerungen von externen Geräten (Boardingtreppe, Transportband, Gepäckabfertiger) abhängig ist oder durch robustere Prozessabläufe (Boarding siehe Abschnitt 5.1.10). Nur eine Kombination beider Ziele sichert

⁸ Detaillierte Informationen finden sich in: Evaluating the true cost to airlines of one minute of airborne or ground delay: final report der Universität von Westminster im Auftrag von Eurocontrol

eine langfristige Verkürzung des Turnarounds und damit Kosteneinsparungen für die Fluggesellschaft. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Verspätung nach internationalen Standards erst ab einer Abweichung von 15 Minuten gegenüber dem Flugplan angegeben wird. [12]

Die Mindestabfertigungszeit, Minimum Ground Time (*MGT*), hängt von dem Flugzeugtyp, der Fluggesellschaft, dem Abfertiger und dem Flughafen ab. Sie sollte vom Betreiber möglichst passend gewählt werden, da es sonst zu Verzögerungen kommen kann. Dies gilt sowohl für zu lange, als auch zu kurze *MGT*. Können die Prozesse effizienter genutzt werden, führt dies zu einer höheren Pünktlichkeit und einer größeren Stabilität des Flugplans. Mittlerweile übernehmen externe Firmen viele Aufgaben der Bodenabfertigung für die Airlines. So können pro Abfertigung bis zu 50 Mitarbeiter aus 5 unterschiedlichen Unternehmen für einen Lufthansa Flug am Flughafen Frankfurt beteiligt sein (Stand 2001⁹). Anweisungen hierfür erhält das Personal durch das *GOM*, Ground Operations Manual. [5] Nur wenn alle benötigten Personen und Geräte zum festgelegten Zeitpunkt verfügbar sind, kann ein kurzer Turnaround realisiert werden. Durch Verzögerungen in einem der Prozesse kann der gesamte Zeitplan in Verzug kommen.

Die einzelnen Teilprozesse können dabei seriell (Deboarding und Cleaning vgl. Diagramm 4.4) oder parallel (Catering, Cleaning, Entladen vgl. Diagramm 4.4) verlaufen. Ebenso können sie abhängig voneinander, wie beispielsweise das Cleaning und Boarding, oder unabhängig voneinander sein, wie das Deboarding und das Entladen des Gepäcks. Eine detaillierte Auflistung der Prozesse ist im Anhang (Abbildung 10.5) zu finden.

⁹ Deutsche Lufthansa: Abschlussbericht Operational Excellence, 2001

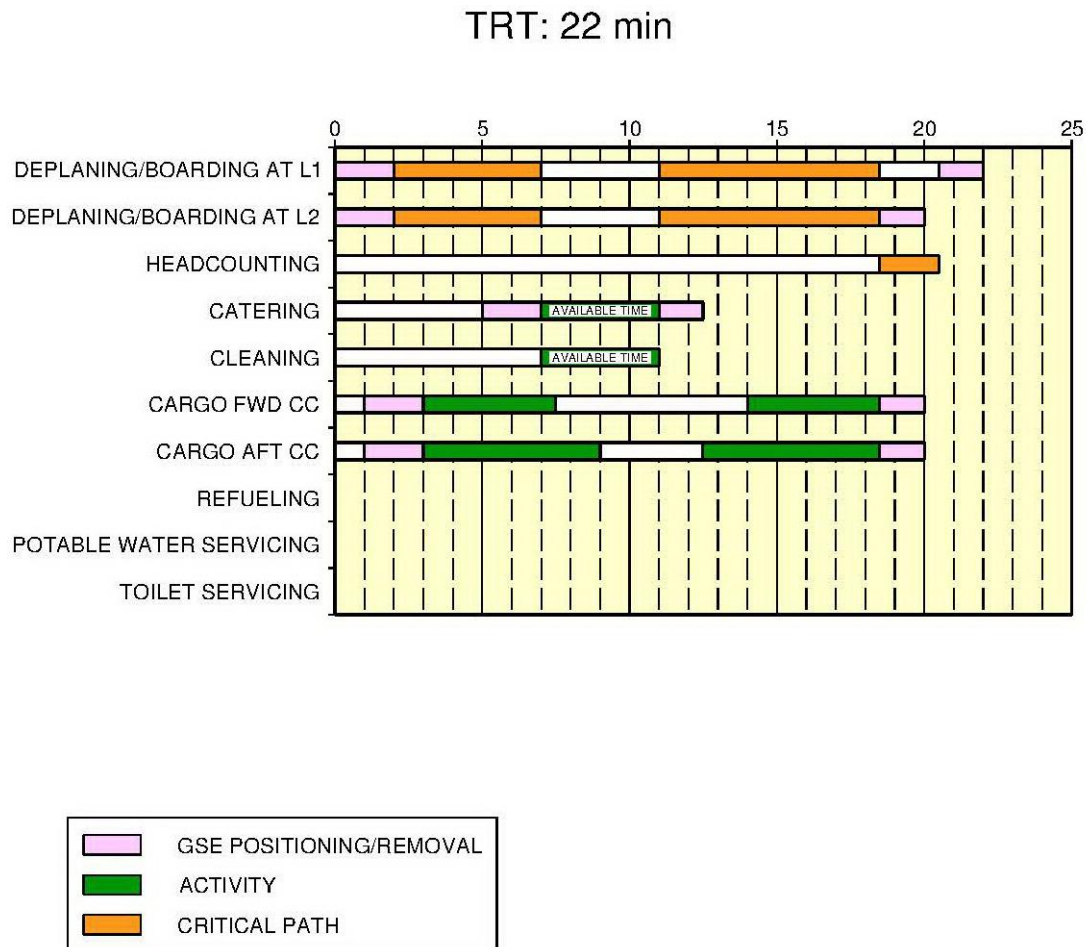


Diagramm 4.4: Airbus A320 Outstation Turnaround Time Chart [6]

4.1 Der kritische Pfad

Als kritischer Pfad wird die Reihenfolge von Prozessen bezeichnet, bei der eine Verzögerung in mindestens einem der Prozesse, unweigerlich zu einer Verlängerung des Turnarounds führt. Umgekehrt bildet der kritische Pfad den kürzest möglichen Turnaround. [9]

Der Begriff stammt aus dem Projektmanagement und existiert bereits seit Ende 1950. Mit dieser Technik werden Prozesse mit dem höchsten Risiko einer Verspätung des geplanten Endtermins identifiziert, jedoch nicht deren Ursachen. [13] Als weiteren Nachteil dieser Methode wird die fehlende Berücksichtigung von Unsicherheiten genannt, sowohl in der Einhaltung von Zeitplänen als auch in den einzelnen Turnaround Prozessen. [14]

Im Normalfall bildet Deboarding-Catering-Boarding (siehe Diagramm 4.5) den kritischen Pfad. [15] Dies kann sich schon bei einem Turnaround an einem Flughafen ändern, der für die Airline nur eine Außenstation ist (Diagramm 4.4). Dort besteht der kritische Pfad aus dem Deboarding und Boarding sowie dem durchzählen der Passagiere an Bord. Die Prozesse des Refuelings, Entleeren der Boardtoiletten und Auffüllen der Frischwassertanks entfallen.

Weiteren Einfluss auf Eigenschaften von Teilprozessen haben die Airlines. So soll das Catering erst nach dem Ende des Deboardings beginnen und vor dem Beginn des Boardings abgeschlossen sein (siehe Diagramm 4.4 und Diagramm 4.5). Je nach Reinigungsaufwand und Standard der Airline, kann das Cleaning ebenfalls auf den kritischen Pfad gelangen. Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der Konstruktion des Flugzeugs und den Sicherheitsbestimmungen. Bei Störungen im Ablauf können auch Fueling und Cargo Loading/Unloading zeitkritisch werden, falls nicht ausreichend Pufferzeit eingeplant ist.

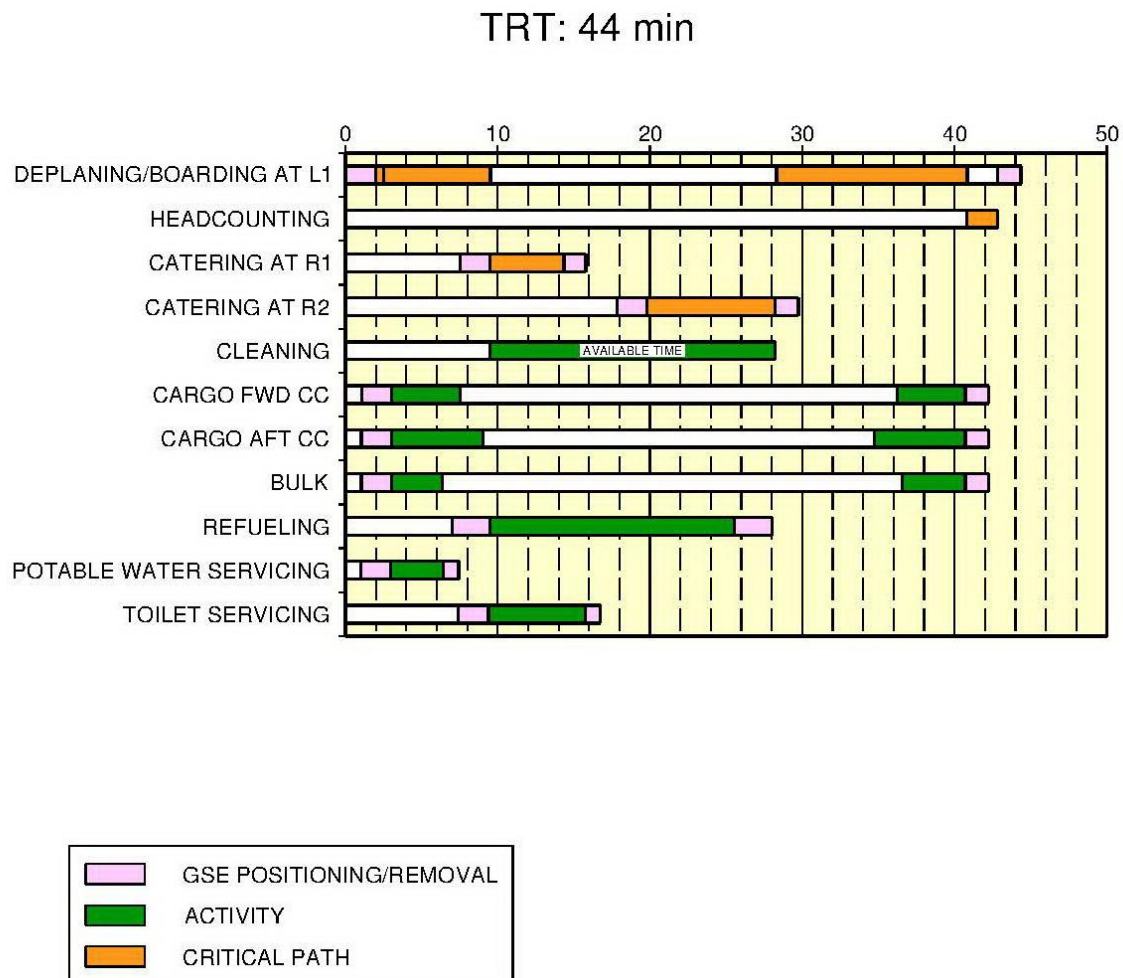


Diagramm 4.5: Airbus A320 Full Service Turnaround Time Chart [6]

4.2 Deboarding/Boarding

Das Deboarding und Boarding befindet sich bei heutigen Turnarounds in den meisten Fällen auf dem kritischen Pfad und ist deshalb von besonderem Interesse. Es hat dabei eine besondere Rolle, da es maßgeblich dem Verhalten der Passagiere angepasst wird. Deboarding bzw. Boarding soll möglichst schnell und unkompliziert ablaufen, denn unnötige Wartezeit wird als störend empfunden. Im Gegensatz zu anderen Turnaround Prozessen, wie dem Betanken oder dem Reinigen der Kabine, läuft es für den Passagier gut sichtbar ab. Das bevorzugte Boarding von First- und Business-Class Gästen zeigt, dass Komfortansprüche der Kunden für die Airline vor zeitlichen Gesichtspunkten stehen. Für Economy Passagiere oder Airlines mit nur einer Klasse sind kürzere Boarding-Zeiten allerdings von höchstem Interesse. Abschnitt 5.1 geht auf bereits vorhandene Optimierungsmöglichkeiten weiter ein. Ein grundsätzlicher Ablauf in der Kabine ist in Diagramm 4.6 zu sehen.

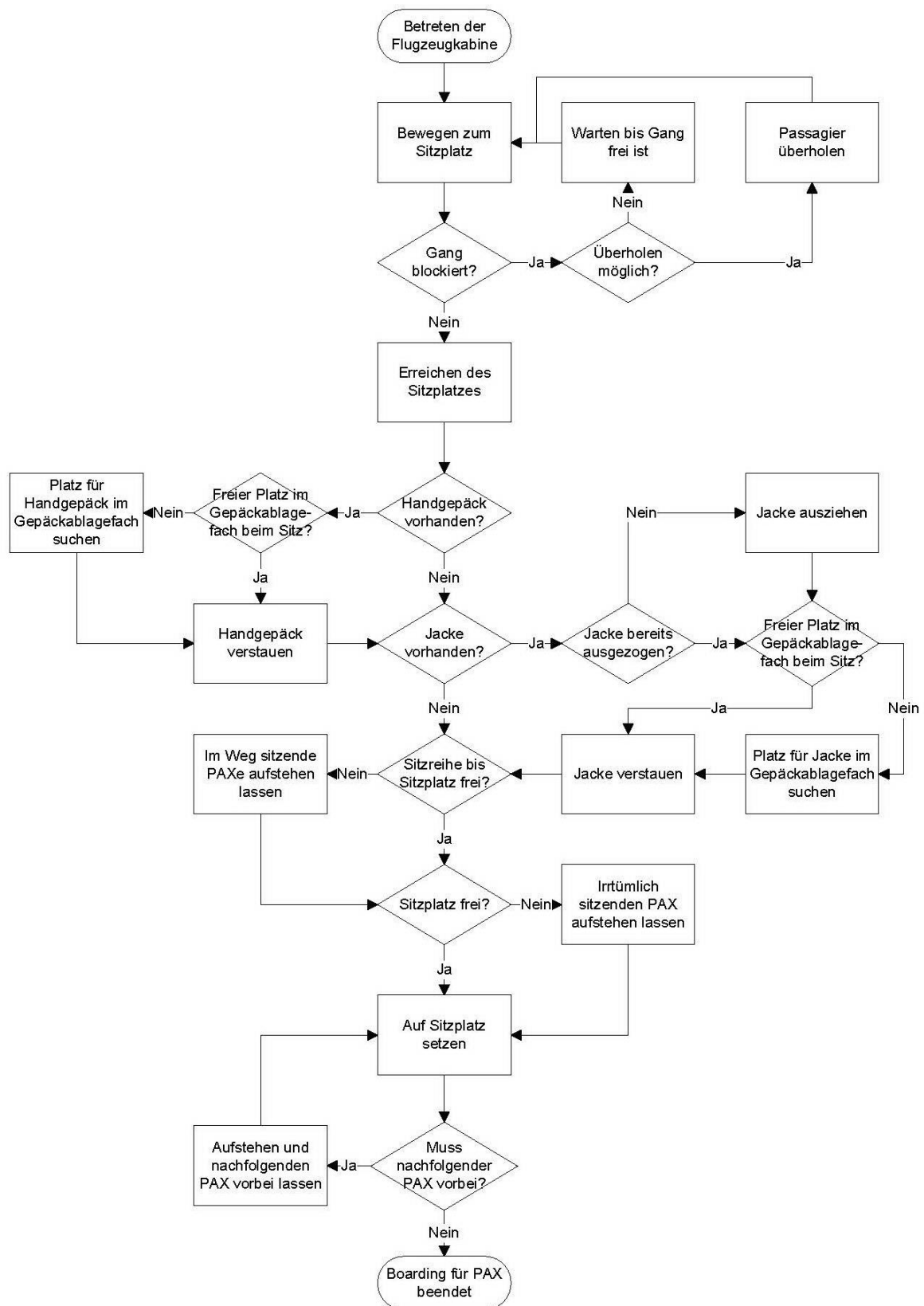


Diagramm 4.6: Flussdiagramm des Boardings in der Kabine [12]

Nach dem Unterlegen der Bremsklötze und dem Positionieren der Treppe oder des Fingers ist das Deboarding, zusammen mit dem Entladen des Gepäcks, eines der ersten Kernprozesse des Turnarounds (siehe Diagramm 4.4). Laut Airbus Unterlagen beträgt die Zeit zum vollständigen Aussteigen über eine Tür (L1) von 180 Passagieren, ohne Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen, 11 Minuten. Inbegriffen sind 2 Minuten für das Positionieren einer Passagiertreppe (*PS*) oder das Andocken der Fluggastbrücke (*PBB*) und das Öffnen der Tür. Erfolgt der Ausstieg über 2 Türen (L1 und L2), unter gleichen Randbedingungen wie im Fall davor, verkürzt sich die benötigte Zeit auf 7 Minuten. Dabei sinkt die Ausstiegsrate von 20 Passagieren pro Minute und Tür auf 18. [6] Die Soll-Dauer der Deutschen Lufthansa, für ein Flugzeug der gleichen Klasse, ist identisch. [5] Das effizienteste Verfahren ist gleichzeitig das am meisten angewendete: Die Passagiere ordnen sich selbstständig an. Es hat dabei Züge eines Front-To-Back Verfahrens, da die vorderen Passagiere einen kürzeren Weg zum Ausgang haben. Alle Passagiere haben dabei dasselbe Ziel, anders als beim Boarding wo jeder einen anderen Sitzplatz zugewiesen bekommt. [12] Aus diesem Grund wird auf die Optimierung des Deboardings nicht weiter eingegangen. Man könnte jedoch über Möglichkeiten nachdenken, die Passagiere zu einem schnelleren Aussteigen zu bewegen.

Abgeschlossen wird der Turnaround im Normalfall mit dem Boarding, beziehungsweise der Kontrolle, ob alle eingeeckten Passagiere sich an Bord befinden. Für das Boarding von 180 Passagieren über L1 wird eine Zeit von 18,5 Minuten angegeben. Darin enthalten sind zwei Minuten für das Durchzählen sowie 1,5 Minuten für das Entfernen des Zugangs und das Verschließen der Tür. Das Boarding über L1 und L2 benötigt 11 Minuten bei gleichen Randbedingungen. Die Einstiegsrate bleibt konstant bei 12 Passagieren pro Minute pro Tür. [6] Lufthansa sieht eine Soll-Dauer von 20 Minuten vor. [5] Auf die unterschiedlichen Verhaltensweisen der Passagiere während des Einsteigens und die daraus resultierenden Verzögerungen wird in Abschnitt 5.1 weiter eingegangen.

4.3 Service-Prozesse

Als Service-Prozesse werden das Reinigen (Cleaning), der Austausch der Verpflegung an Bord (Catering) und das Betanken mit Kerosin (Fueling) bezeichnet. Auf das Betanken wird explizit in Abschnitt 4.5 eingegangen. Zusätzlich müssen, je nach Nutzung, die Flugzeugtoilette entleert und die Trinkwassertanks wieder befüllt werden.

Der 200 l große Frischwassertank wird zuerst befüllt, bevor der standardmäßig 177 l fassende Abwassertank geleert wird. Um eine Geruchsbelästigung der Passagiere zu vermeiden, startet das Abpumpen erst, wenn alle Passagiere die Kabine verlassen haben. Diese beiden Prozesse sind nicht auf dem kritischen Pfad, da sie mit ca. drei Minuten für das Befüllen des Frischwassers und ca. sechs Minuten für das Abpumpen von Abwässern relativ kurz und nur von dem Deboarding abhängig sind. Aufgrund der Tankgröße ist dieser Prozess, unter Umständen, nicht bei jedem Turnaround nötig. [6] [16]

Das Catering erfolgt meist über die rechte vordere Kabinentür (R1), nachdem die Crew die Freigabe erteilt hat. Standardmäßig geschieht dies erst nachdem die Passagiere ausgestiegen sind. Möglich ist auch ein paralleler Austausch der Catering-Trolleys über beide Türen (R1 und R2). Die Flugroute wird in der Zeitplanung bisher nicht berücksichtigt, obwohl sich deutliche Unterschiede ergeben können. [5]

Airbus gibt als Referenzzeit für den Full Service Turnaround (siehe Diagramm 4.5) 22,2 Minuten an. In diesem Fall werden 11 Full Size Trolleys an beiden Türen mit nur einem Hubwagen ausgetauscht. Die Zeit zum Positionieren des Equipments, Öffnen und Schließen der Tür sowie Wechsel der Tür sind bereits mit eingerechnet. Für den Outstation Turnaround wird der Austausch von ca. vier Trolleys an R1 mit einer Zeit von 8,3 Minuten angegeben. [6] Diese zeitliche Abschätzung deckt sich gut mit der Soll-Dauer der Lufthansa von 8 bis 20 Minuten und 9, beziehungsweise 10 Minuten des Modells. Beim Einsatz von zwei Catering-Fahrzeugen verkürzte sich die Gesamtdauer um zwei Minuten. Bei kurzen Bodenzeiten hat dieser Prozess jedoch den geringsten Einfluss auf die durchschnittliche effektive Bodenzeit, wie die Analyse in [5] zeigt.

Der Umfang des Cleanings wird grundsätzlich an die verfügbare Zeit angepasst. Eine Zeit zwischen 8 und 20 Minuten wird als Soll-Dauer bei Lufthansa angegeben und im Schnitt eine Zeit von 11 Minuten erreicht. Nicht berücksichtigt werden beim Lufthansa Cleaning die Dauer

des Fluges¹⁰, die Anzahl an Passagieren¹¹ und die Herkunft des Fluges, obwohl bei einigen Herkunftsorten (Beirut, Larnaca, Tunis) mit einem größeren Reinigungsaufwand zu rechnen ist (2,5 Minuten mehr). Die Crew kann Zusatzleistungen von dem Reinigungspersonal anfordern, wenn sie es für nötig hält. Die Freigabe zum Reinigungsbeginn erfolgt ebenfalls durch die Crew und wird häufig erst erteilt, nachdem alle Passagiere das Flugzeug verlassen haben. [5]

Besonders beim Reinigen lässt sich die Turnaround Zeit verkürzen, da sowohl der Dienstleister, als auch die Airline direkt Einfluss auf diesen Prozess nehmen können. So können einzelne Reinigungsprozesse (Staubsaugen der Kabine, Reinigen der Overhead-Bins) in gemeinsamer Absprache wegfallen, um die benötigte Zeit zu verkürzen. Verzichtet die Airline selbst auf Essen, welches besonders viel Schmutz verursacht (Brötchen zum selber belegen, Nüsse, Chips), lässt sich auch hier der Reinigungsaufwand begrenzen. Gleiches gilt für den Einsatz von Reinigungstüchern, die aufgrund von fehlenden Mülleimern vom Reinigungspersonal entsorgt werden müssen. Durch die aufgeführten Maßnahmen konnten die Hamburger Bodenverkehrsdienste die Cleaning-Dauer von 15 auf 5 Minuten verkürzen. [15]

In Einzelfällen kann das Cleaning auch abgebrochen oder verkürzt werden. Personal kann bei Bedarf kurzfristig aufgestockt werden, sofern der Dienstleister die nötigen Kapazitäten bereithält. Diese Eigenschaften machen den Prozess gut steuerbar. Dennoch hat der Prozess einen größeren Einfluss auf die Turnaround Zeit als das Catering in der Analyse [5].

Bei Low Cost Airlines wird das Cleaning von der Kabinenbesatzung durchgeführt. Da auf solchen Flügen grundsätzlich weniger Verpflegung ausgegeben wird, da diese extra bezahlt werden muss, sinkt auch die benötigte Zeit zum Reinigen. Dadurch können diese Airlines ihre Turnaround Zeit verkürzen und sparen gleichzeitig zusätzliches, externes Personal. [17]

¹⁰ 4,5 Minuten Unterschied bei der Reinigungsdauer zwischen der kürzesten Flugdauer (CGN-FRA) und der längsten (SVX-FRA) [5]

¹¹ Pro 100 Passagiere steigt die Cleaning-Dauer um 2,73 Minuten [5]

4.4 Be- und Entladen von Gepäck

Der Frachtraum des A320 verfügt über 2 Cargo Doors, welche vom gelben Hydraulikkreis nach außen geöffnet werden. Bei einem Hydraulikausfall kann eine Handpumpe genutzt werden, um den nötigen Druck aufzubauen. Das Foreward Cargo Compartment wird als Compartment 1 bezeichnet, das Aft Cargo Compartment ist unterteilt in Compartment 3 und 4. Der Ablauf, laut Flight Crew Operating Manual (FCOM), zum Öffnen der Frachttüren ist in Diagramm 4.7 beschrieben. Das Schließen erfolgt analog dazu. Eine Zeichnung der Panels ist in Abbildung 10.7 zu sehen.

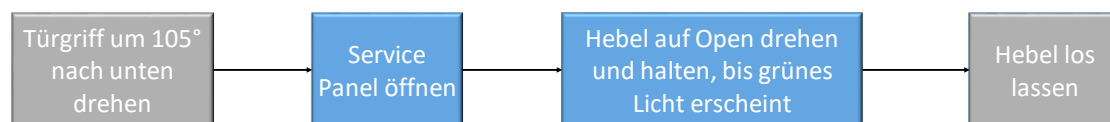


Diagramm 4.7: Subprozesse zum Öffnen der Cargo Compartment Türen [18]

Im hinteren Bereich befindet sich außerdem eine Bulk Cargo Door, welche per Hand nach innen geöffnet werden kann. Es wird als Compartment 5 bezeichnet. Im Vergleich zum A319, welcher keine zusätzliche Tür für Bulk Cargo besitzt, dauert der Ladeprozess im Schnitt eine Minute länger als bei den Typen mit einer solchen Tür (A320/A321). [5]

Sicherheitsbestimmungen verbieten außerdem den Flug mit dem Gepäck eines Passagiers, welcher seinen Flug nicht antritt (ICAO Annex 17). Dieses muss vor Abflug aus dem Frachtraum entladen werden. Daher ist es üblich die Frachttür, in den meisten Fällen, bis zum Ende des Boardings geöffnet zu lassen. Muss ein solches Gepäckstück wieder ausgeladen werden, ist dieser Vorgang als eine der wesentlichen Ursachen für eine Verspätung des Ladevorgangs anzusehen. [5] Dieser Passagier wird als sogenannter „No-Show“ bezeichnet. Eine genauere Auseinandersetzung mit diesem Problem erfolgt in Abschnitt 5.4.

Besonders die ständig variierende Schwellenhöhe fordert ein kontinuierliches Anpassen der Höhe von Fahrzeugen zum Be- und Entladen der Frachträume (vgl. 5.3.4). Dies senkt die Stabilität der Prozesse und verursacht möglicherweise zusätzliche Eingriffe in Prozessabläufe.

Besonders die Gepäckabfertigung hat eine hohe Varianz der Prozessdauer¹². Dadurch wird eine präzise Voraussage der benötigten Turnaround-Dauer erschwert. [19]

In verschiedenen Simulationsstudien ([20] und Kaupp & Müller-Kästner 1996) wird der Ladeprozess als Teil des kritischen Pfads beschrieben. [19] sieht den Prozess in den meisten Fällen nicht als Teil dessen. Diese widersprüchlichen Angaben lassen keinen allgemein gültigen Rückschluss zu und decken sich mit der hohen Varianz aus [19]. Es zeigt, dass die konkreten Eigenschaften der Abfertigung, bzw. die getroffenen Annahmen in der Simulation, über die Dauer des Prozesses entscheidet.

4.4.1 ULD

Das Beladen mit *ULD* soll die Beladezeit signifikant verkürzen, den Schaden an Gepäck verringern und verbesserte Möglichkeiten des Frachttransports bieten. [2] So wird die Anzahl an Gegenständen, welche in den Frachtraum geladen werden müssen, reduziert. Damit kann Zeit und Personal eingespart werden. Container lassen sich außerdem einfach wiegen, was das Weight and Balance erleichtert. [21] Bis zu sieben *ULD* Container lassen sich im Frachtraum in gesicherten Positionen verstauen, drei im Vorderen und vier im hinteren Cargo Compartment. Airbus gibt hier als Referenzzeit folgendes an:

Vorgang	Zeit in Minuten
Öffnen der Frachttür und positionieren des <i>LDCL</i>	2
Entladezeit pro Container und <i>LDCL</i>	1,5
Ladezeit pro Container und <i>LDCL</i>	1,5
Entfernen des <i>LDCL</i> und schließen der Frachttür	1,5

Tabelle 4.1: Airbus Referenzzeit für das Be- und Entladen von Containern [6]

In beiden Frachträumen kann ein semi-automatisches Cargo Loading System (*CLS*) eingebaut werden. Bedient wird es über eine Konsole in der geöffneten Frachttür. Im Boden befinden sich

¹² In der Studie wurden verschiedene Flugzeugtypen aus unterschiedlichen Kategorien beobachtet

Verschlusshebel zum Sichern der Ladung. Zwei Door Sill Latches, Türschwellen-Verschlusshebel, verhindern das unbeabsichtigte Verschieben eines Containers oder einer Palette über die Ladekante hinweg. Jeder der Verschlüsse ist zweifach gesichert. Ein Teil muss elektrisch mit der Konsole freigegeben werden (Schritt 3 in Diagramm 4.8), der andere muss per Hand bedient werden. Die XZ-Latches befinden sich im Boden des Frachtraums und können nur manuell betätigt werden. Eine Skizze des Compartments 3 und 4 mit CLS findet sich in Abbildung 4.1. An den Rändern befinden sich noch YZ-Latches, die aber nicht gesondert bedient werden müssen. [22]

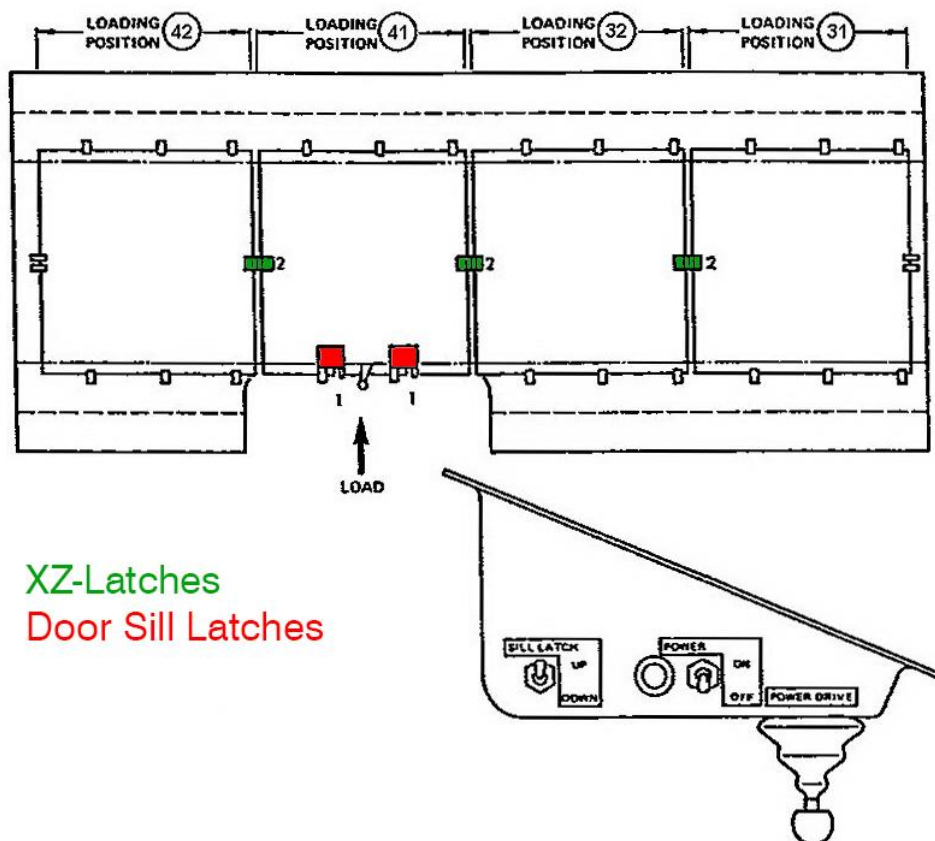


Abbildung 4.1: CLS Aft Cargo Compartment (in Anlehnung an [22])

Zum Be- und Entladen des Frachtraums ist zwingend mindestens ein externer Hubtransporter nötig, der maximal zwei Container an der Schwellenhöhe des Frachtraums entgegennehmen kann und anschließend weiter transportiert. Alternativ kann auch nur eine Hubbühne (in [6] mit LDCL abgekürzt), eine Art Fahrstuhl für die ULDs, genutzt werden, um die Container anschließend auf kleine Transportwagen, sogenannte Dollies (in [6] mit ULD abgekürzt), zu

schieben und weiter zu transportieren. Der Transport mit LKWs anstatt Dollies ist ebenfalls möglich. Je nach System muss die Beladereihenfolge bereits im Voraus festgelegt werden. [21] Eine Übersicht der benötigten Fahrzeuge ist in Abbildung 10.4 zu sehen.

Der Ablauf des Be- und Entladens mit Containern oder Paletten erfordert viele Handgriffe der Gepäckabfertiger. Der Prozess des Entladens sieht wie folgt aus:

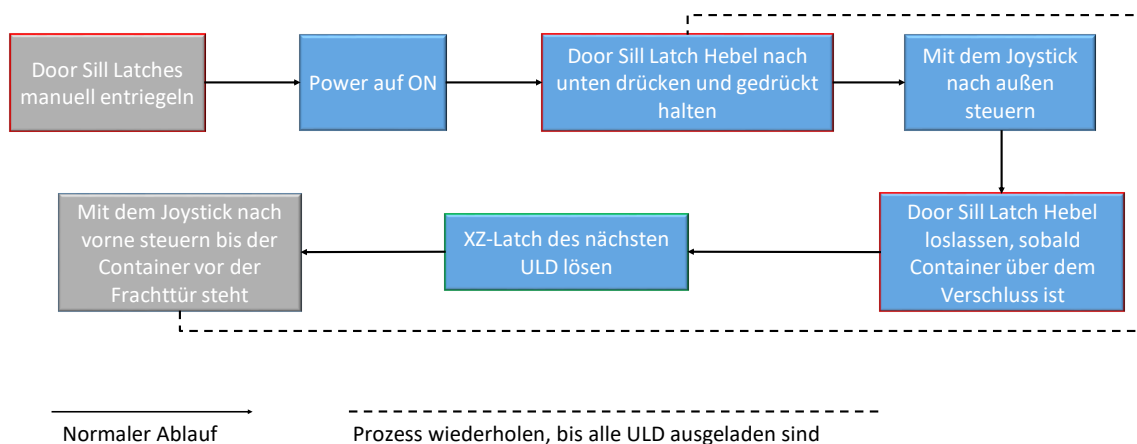


Diagramm 4.8: Teilprozesse zum Entladen des Aft Cargo Compartments [22]

Bevor das Entladen beginnen kann, müssen die Türen des Cargo Compartments geöffnet werden (Schritte in Diagramm 4.7).

Beim Beladen entfällt das elektrische Versenken des Door Sill Latches, da er in Laderichtung außer Kraft gesetzt wird. Folgende Schritte sind zu befolgen:

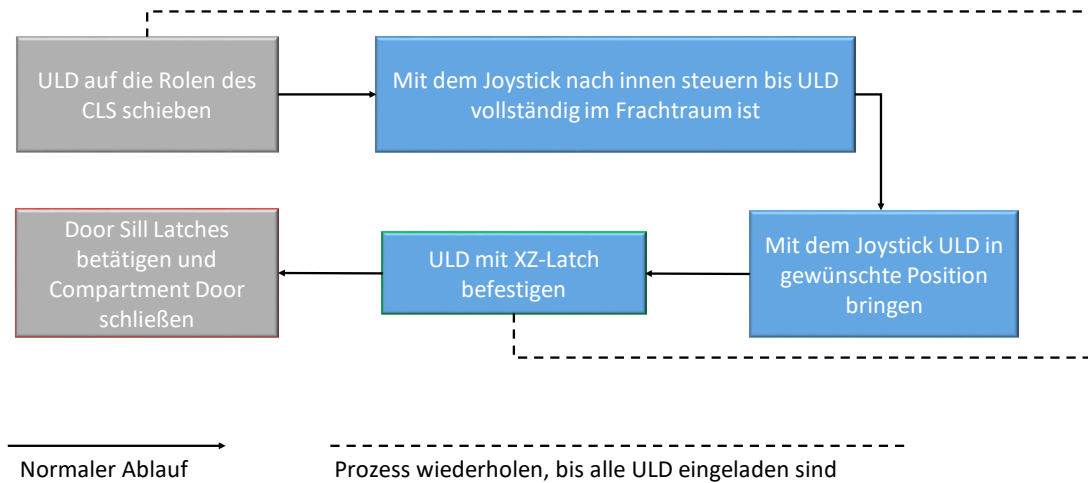


Diagramm 4.9: Teilprozesse zum Beladen des Aft Cargo Compartments [22]

Danach muss die Frachttür wieder verschlossen werden, damit der Vorgang abgeschlossen werden kann.

Neben den bereits genannten Vorteilen werden folgende Nachteile für die Nutzung von *ULDs* in [23] genannt:

- **Höhere Anschaffungskosten des Flugzeugs durch Einbau eines Transportsystems (CLS)**
- **Kein Transport von Sperrgut in Containern**
- **Bodendienstgeräte werden benötigt**
- **Hohe Wahrscheinlichkeit von Verzögerungen bei Störungen des Systems**
- **Masse der Ladeeinheiten reduziert Nutzlast**
- **Ladeeinheiten müssen bevorratet werden**

Diese Gründe machen den Einsatz von *ULDs* für die meisten Low-Cost Airlines uninteressant, da sie bevorzugt von kleine Flughäfen agieren und nicht die nötige Logistik für die Container bereitstellen wollen. Je nach Zielort müssen bereits auf dem Hinflug die leeren *ULDs* transportiert werden, da es am Zielflughafen keine benötigten Container gibt.

4.4.2 Bulk Cargo

Werden einzelne Gepäckstücke in den Frachtraum transportiert und dort möglichst platzsparend angeordnet, spricht man von der Bulk Cargo Beladung. Bei der Reihenfolge der Beladung gibt es eine Priorisierung von gewissen Gepäckstücken. So wird Gepäck von Passagieren mit höherem Status (First und Business Class), anschließendem Weiterflug oder Mitgliedern der Crew erst zum Schluss eingeladen, damit dieses Gepäck am Zielflughafen als erstes ausgeladen werden kann. [5]

Die losen Gepäckstücke werden in kleinen Gepäckwagen zum Flugzeug gefahren und von dort per Hand auf ein Förderband, Conveyor Belt (CB), gehoben (siehe Abbildung 10.2). Im Frachtraum befindet sich ein weiterer Gepäckabfertiger, welcher die Koffer anschließend per Hand entgegennimmt und verstaut. Eine Anordnung der Gepäcknetze zur Sicherung der Fracht ist in Abbildung 4.2 zu sehen.

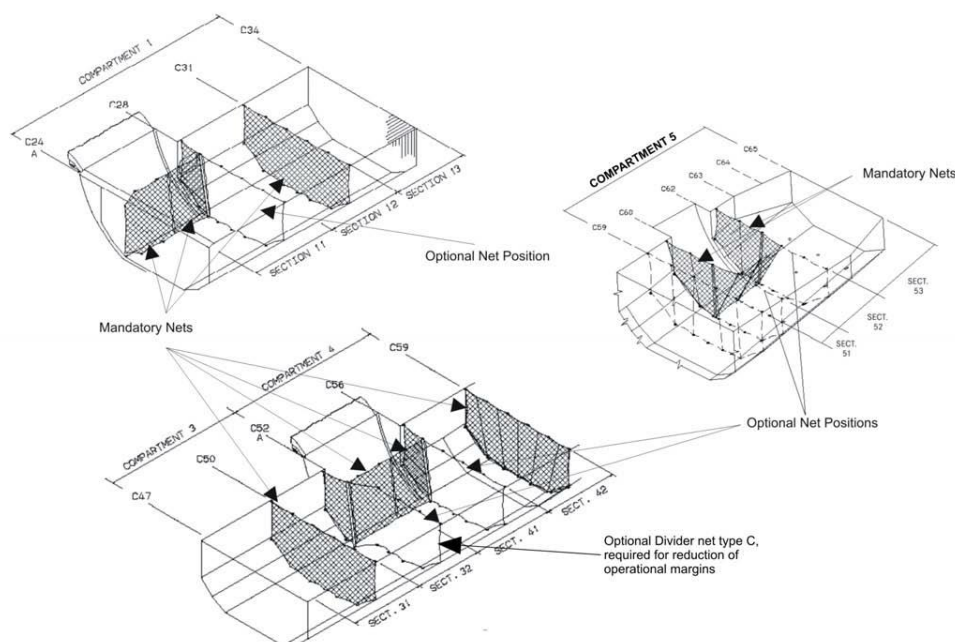


Abbildung 4.2: Anordnung von Gepäcknetzen im Frachtraum für Bulk Cargo [24]

Die Schwellenhöhe der Ladeluke beim A320 liegt zwischen 1,98 m und 2,29 m, je nach Frachtraum. Diese Höhe nimmt bei steigendem Gesamtgewicht ab, da die Fahrwerke am Boden

nicht im Einfederweg begrenzt sind. Bei dieser Höhe¹³ ist Beladung ohne Förderband nicht möglich. Die Frachtraumhöhe beträgt 1,24 m. In dieser Höhe kann der Gepäckabfertiger auf seinen Knien die Koffer mit einem aufrechten Rücken verstauen, was seine Gesundheit¹⁴ schont und den Prozess um 10 %¹⁵ verkürzt. [25] Die optimale Höhe für die kniende Beladung liegt zwischen 1,15 m und 1,3 m. [21]

Laut Irrgang¹⁶ kann das Beladen mit losem Gepäck auf den kritischen Pfad gelangen, im Gegensatz zur Beladung mit *ULD*. [5] Gegenätzlich dazu geht [9] davon aus, dass es ökonomisch sinnvoller für Kurzstreckenflüge sei bei der Bulk Beladung zu bleiben, um Kosten für die Beladungsfahrzeuge zu sparen.

4.5 Refueling

Das Betanken beginnt, im Normalfall, nach dem abgeschlossenen Deboarding und der Freigabe des Kapitäns. Der Tankwart erhält die Minimum Fuel Angabe, Menge an Kerosin die mindestens für den Flug benötigt wird, von einem Mitarbeiter der Airline. Diese wird im Vorhinein berechnet und steht fast immer vor Ankunft des Flugzeugs fest. Ist das Flugzeug mit dieser Kerosinmenge betankt oder hat noch ausreichend Kerosin an Bord, wartet der Mitarbeiter auf die sogenannte Blockfuel-Angabe. Dieser zusätzliche Treibstoffbedarf wird vom Kapitän berechnet und berücksichtigt die tatsächliche Beladung des Flugzeugs, erwartete Wettereinflüsse auf der Route sowie ausreichend Kerosin für einen Ausweichflughafen oder Warteschleifen. [5]

Besonders die Blockfuel-Meldung kann für den Prozess des Betankens entscheidend werden, weil vorher der Tankvorgang nicht abgeschlossen werden kann. Findet ein Wechsel der Crew

¹³ Die optimale Schwellenhöhe zum Be- und Entladen liegt bei 1,2 m, was der durchschnittlichen Brusthöhe eines 1,8 m großen Mannes entspricht. [21]

¹⁴ Das verschieben von Gepäck im Frachtraum und das Stapeln sind die häufigsten Ursachen für Verletzungen der Gepäckabfertiger [25]

¹⁵ Im Vergleich zu sitzender oder hockender Tätigkeit [25]

¹⁶ Irrgang M.E. (2000): Airline Operational Efficiency

nach Ankunft statt, kann die neue Crew die Blockfuel-Menge bereits vorher bestimmen und weitergeben. Fliegt jedoch die gleiche Crew auch den nächsten Flug, so kann die Berechnung erst nach Ankunft und Abschluss des Crew Briefings stattfinden. Dies kann, besonders bei kurzen Turnaround Zeiten, zu einer Verzögerung des Betankens führen. Allerdings steht die benötigte Menge bereits wenige Minuten nachdem der Pilot das Cockpit betreten hat fest. In der Simulation von [5] hat die Veränderung des Zeitpunkts der Blockfuel-Menge einen geringen Einfluss¹⁷ auf die durchschnittliche Dauer. Es konnten jedoch die Turnarounds mit langen Verspätungen reduziert werden, falls die Meldung vorgezogen wurde. [5]

Die Kommunikation kann durch persönliche Absprache, ein Datenübermittlungssystem der Airline oder dem Flugzeug-eigenen Refueling Control Panel erfolgen. Letzteres bietet eine gute Kontrolle, da sich sowohl ein Panel im Cockpit als auch an der Verkleidung von Rumpf und Flügel befindet. Es zeigt die angeforderte Menge (Preselected) und die aktuell getankte Menge (Actual) und verhindert Missverständnisse.

Der A320 hat den Anschluss zum Betanken standardmäßig auf der rechten unteren Flügelseite. Optional kann ein zweiter Anschluss auf der linken Seite ab Werk eingebaut werden. Zusätzlich gibt es einen Anschluss auf der rechten Flügeloberseite zum Befüllen des Tanks, alleine durch Schwerkraft. In der normalen Konfiguration besitzt der A320 einen Center Tank mit 8.250 Litern Fassungsvermögen, zwei innere Flügeltanks mit je 6.924 Litern und zwei äußere Flügeltanks mit jeweils 880 Litern. Beim automatischen Betanken werden zuerst die äußeren Flügeltanks, dann die Inneren und zuletzt der Center Tank befüllt. Der Vorgang wird automatisch beendet, wenn sich der vorgewählte Inhalt im Tank befindet oder es eine Füllstandswarnung gibt. [18]

Die Betankung erfolgt bei maximal 50 psi. Im *FCOM* wird die benötigte Zeit mit 20 Minuten angegeben. Ähnliche Zeiten ergeben sich in [6] bei einer durchschnittlichen Durchflussrate von

¹⁷ Veränderung der Blockfuel-Meldung um ± 6 Minuten führt zu einer Veränderung der tatsächlichen Bodenzeit um ± 1 Minute

1.250 l/min und der berücksichtigten Zeit zum Anschließen des Betankungsstutzens am rechten Anschluss unter dem Flügel. Dafür können entweder Tankwagen oder Pumpwagen eingesetzt werden, je nach Flughafeninfrastruktur. Lufthansa gibt für die Soll-Dauer 15 Minuten an. [5]

Die Durchflussmenge verringert sich während des Vorgangs exponentiell. Grund hierfür ist der statische Druck aufgrund des steigenden Kerosinspiegels und sich verschließender Ventile. [26] Für einen Airbus A320 ergibt sich ein Verlauf wie in Diagramm 4.10 dargestellt. Ein paralleles Betanken an beiden Anschlüssen würde die Durchflussrate erhöhen, jedoch nicht verdoppeln. [19]

Nicht an jedem Flughafen findet zwangsläufig ein Betanken statt. Es kann auch mehr Kerosin, als für den nächsten Flug benötigt, getankt werden, falls der Preis am Zielflughafen erheblich teurer ist. Das sogenannte Tankering wird im *FCOM* (Kapitel 2.05.70) genauer beschrieben. [18] Airbus sieht bei dem Outstation Turnaround (Diagramm 4.4) ebenfalls keine Zeit zum Betanken vor. Dabei bleibt zu berücksichtigen, dass unter Umständen am Zwischenziel ein zusätzliches De-Icing stattfinden muss, weil das transportierte Kerosin während des Flugs die Tragflächen vereist hat. Es bleibt deshalb eine Abwägung des Piloten bzw. der Einsatzzentrale, ob dieses Verfahren wirklich zu einer Zeit- und Kostenersparnis führt.

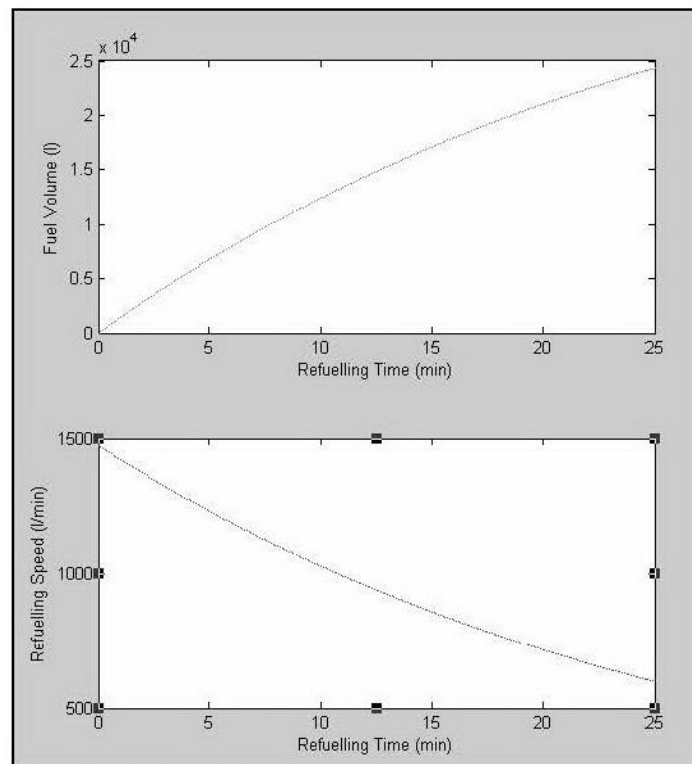


Diagramm 4.10: Refueling Time¹⁸ eines Airbus A320 [16]

In einer Simulation von [19] (mit 10^4 Durchläufen) war das Betanken in 56 % der Fälle der kritische Prozess zwischen dem Deboarding und Boarding. Dabei wurden in dem Modell bereits Unterbrechungen für die verspätete Blockfuel-Meldung berücksichtigt.

Das Betanken in Anwesenheit von Passagieren an Bord ist grundsätzlich, unter erhöhten Sicherheitsvorkehrungen, möglich. Dazu zählen Vorkehrungen für das schnelle Räumen der Kabine und Vorsichtsmaßnahmen, wie das Einschalten der Rauchverbotszeichen. Weitere Informationen finden sich in den Unterlagen der Flugsicherheitsbehörden (JAR-OPS 1 und

¹⁸ Unter der Annahme einer Anfangsdurchflussrate von 1.475 l/min und der Betankung über einen Anschluss

dessen Nachfolger) oder auf der Homepage von Airbus¹⁹. Es wird jedoch in der Praxis selten angewendet. [5] Hinzu kommt, dass dieses Verfahren nicht auf jeder Flughafenparkposition durchgeführt werden darf.

¹⁹ http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-GND_HAND-SEQ01.pdf

5 Bestehende Optimierungsansätze und deren Bewertung

In vorherigen Arbeiten wurden bereits verschiedene Einflussfaktoren auf den Turnaround untersucht. In diesem Abschnitt wird ein Auszug über durchgeführte Untersuchungen gegeben und deren Umsetzbarkeit in der Praxis in einem Kurzstreckenflugzeug diskutiert.

Der Schwerpunkt der Recherche wurde auf das Boarding (Abschnitt 5.1) und das Be- und Entladen von Gepäck (Abschnitt 5.3) gelegt. Besonders das Deboarding/Boarding befindet sich in den meisten Fällen auf dem kritischen Pfad und bietet ein großes Optimierungspotenzial. Beim Outstation Turnaround (Diagramm 4.4) ist es zusammen mit dem Be- und Entladen von Gepäck einer der längsten Prozesse. [27] geht davon aus, dass nur eine Verkürzung beider Prozesse zu einer kürzeren Bodenabfertigungszeit führe. Das Deboarding wird jedoch nicht weiter betrachtet, da es bereits kürzer und mit weniger Störungen abläuft als das Boarding.

Abschnitt 5.5 geht kurz auf die Möglichkeiten des Belly Caterings ein, welche jedoch als ungeeignet für ein Kurzstreckenflugzeug erachtet werden. Nicht berücksichtigt wurden das Refueling, da dieses bei Langstreckenflugzeugen kritischer ist und durch das simultane Betanken an zwei Anschlüssen oder mit Passagieren an Bord bereits verkürzt werden könnte. Auf das Cleaning wurde ebenfalls nicht weiter eingegangen, da es grundsätzlich an die verfügbare Zeit am Boden angepasst wird.

Im letzten Abschnitt 5.6 wird auf neue Flugzeugentwürfe für einen verkürzten Turnaround eingegangen, da besonders die Probleme und Engpässe bisheriger Muster herausgearbeitet wurden.

5.1 Boarding

Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Artikeln und Abschlussarbeiten haben sich bereits mit dem Thema Boarding beschäftigt. Besonders bei diesem Prozess erleben Passagiere unerwünschte Verzögerungen. Eine Übersicht der Verfahren ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

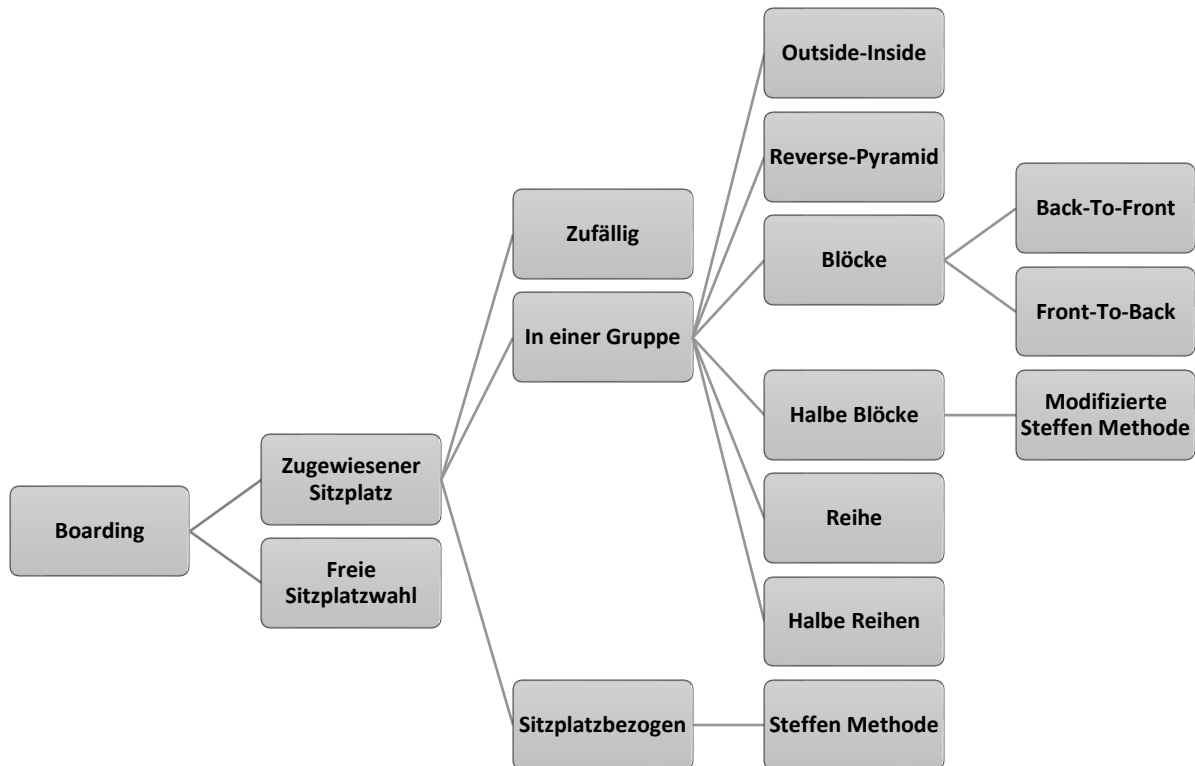


Abbildung 5.1: Übersicht der Boarding-Verfahren (in Anlehnung an [28])

5.1.1 The Role of Computer Simulation in Reducing Airplane Turn Time

Bereits in der ersten Ausgabe des Aero Magazines ([29]) von 1998 hat Boeing die Turnaround-Zeit untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Boarding-Rate seit 1970 um mehr als 50 % auf 9 Passagiere pro Minute reduziert hat. Als Gründe hierfür werden erhöhtes Handgepäck, demografische Veränderungen der Passagiere, Fluglänge, Airline Strategien und eine größere Rücksicht auf den Komfort der Fluggäste genannt. Um Boeings eigene Simulation (Passenger Enplane/Deplane Simulation, *PEDS*) zu korrelieren, wurden Beobachtungen an verschiedenen Flughäfen durchgeführt. Darüber hinaus wurden weitere Versuche an einer Boeing 757-200, einem Single-Aisle-Mittelstreckenflugzeug, in der Boeing-Fabrik

durchgeführt. 600 Freiwillige²⁰ sollten zu dem Versuch Handgepäck für einen drei- bis vierstündigen Flug mitbringen. Getestet wurde das Boarding über eine und zwei Türen, sowie das abweichende Boarding-Verfahren Outside-In(side). Dabei wurden die in Abbildung 5.2 gezeigten Zeiteinsparungen festgestellt.

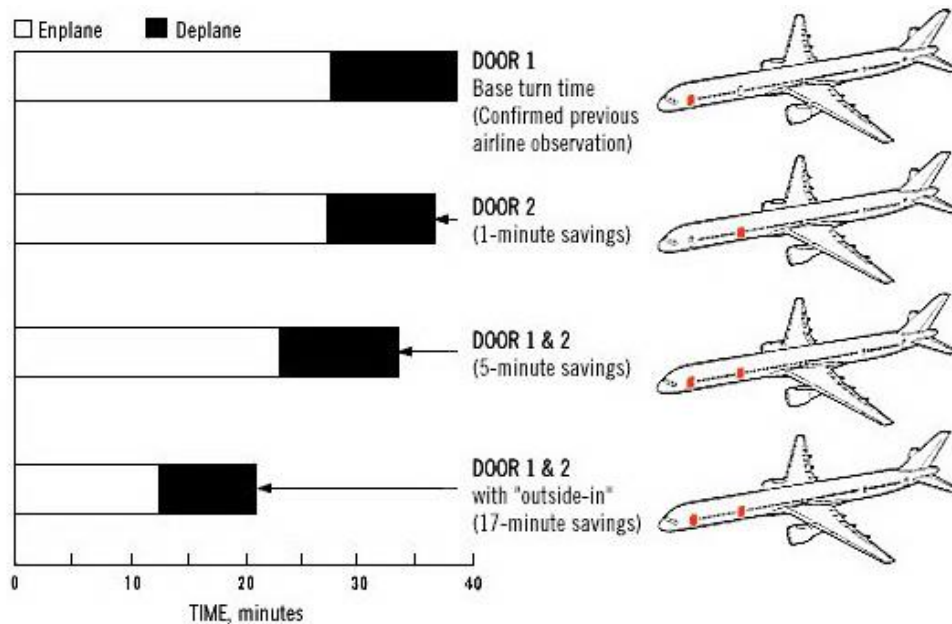


Abbildung 5.2: Mögliche Verkürzungen der Turnaround-Zeit [29]

Da der A320 keine ausreichend große Tür zum Boarding in der Mitte des Rumpfes aufweist, können diese Ergebnisse nicht direkt übertragen werden. Allerdings besteht eine gewisse Ähnlichkeit zum Boarding mit zwei Türen. Im Falle eines blockierten Ganges konnte beobachtet werden, dass Passagiere eher ihr Handgepäck in beliebigen Overhead-Compartments verstauen, anstatt mit dem Verladen zu warten bis sie ihren Platz erreicht haben. [29]

²⁰ Keine Mitarbeiter der Firma Boeing

5.1.2 Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach

Im Bericht [30] der Universität Gent wurden Beobachtungen am Flughafen Brüssel durchgeführt, Daten der belgischen Fluggesellschaft ausgewertet und Interviews mit beteiligtem Personal geführt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Kabineneinrichtung von Kurzstreckenflugzeugen kein komfortables Boarding zulässt. So bilden sich Schlangen im Gang (Aisle) aufgrund der geringen Breite. Deshalb wurden in das Modell mehrere Fälle für das Blockieren des Ganges (Row Congestion) integriert. Die Ursachen sind nach ihrer Häufigkeit absteigend:

- **Verstauen von Gepäck im Overhead-Compartment**
- **Einnehmen des Sitzplatzes erst nach Aufstehen der anderen Gäste möglich**
- **Irrtümliche Belegung durch einen anderen Gast**

Hinzu kommt, dass beim Verstauen das Fach über dem Sitzplatz bereits belegt sein kann und der Passagier sich weiter im Gang bewegen muss, um sein Handgepäck zu verstauen. Deshalb wurde ein Modell für die Belegung der Overhead-Compartments entwickelt und integriert. Für ihr Modell nutzten sie die in

Tabelle 5.1 dargestellte Verteilung.

Handgepäckstücke pro Person	1	2	3
Verteilung unter den Passagieren bei normaler Auslastung [%]	60	30	10
Verteilung unter den Passagieren bei starker Auslastung [%]	20	60	20

Tabelle 5.1: Handgepäckverteilung unter verschiedenen Auslastungen [30]

Der Einfluss von mehr Handgepäck, bei starker Auslastung des Flugzeugs, auf die Boarding-Dauer ist in Diagramm 5.1 dargestellt. Die Zunahme wird gegenüber dem schnellsten Boardingtyp der Klasse bei einer Flugzeug Auslastung von 100 %, aber einer Handgepäckverteilung für normale Auslastung, berechnet. Die beste Methode erwies sich gleichzeitig als die Stabilste, bei Erhöhung des Handgepäckumfangs.

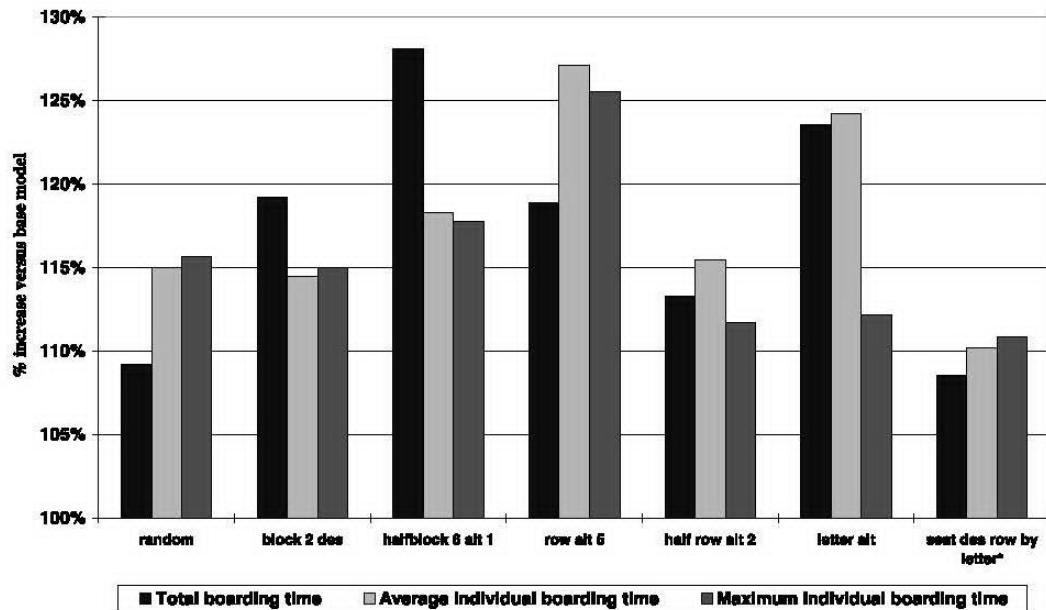


Diagramm 5.1: Zunahme der Boarding-Zeit durch mehr Handgepäck bei starker Auslastung [30]

Fast alle Methoden zum Boarding, eine optimale Reihenfolge vorausgesetzt, benötigten mehr als 20 Minuten mit einer Rate von 6,6 Passagieren pro Minute. Die Rate von 9 Passagieren pro Minute in [29] bezieht sich demnach auf Lang- oder Mittelstreckenflugzeuge mit mehr als 200 Passagieren. Die kürzeste Zeit wurde mit der Methode „By Seat“, also dem individuellen Aufrufen jedes einzelnen Passagiers erzielt (10,4 Minuten). Weitere Ergebnisse sind in Diagramm 10.1 zu sehen. Dabei korreliert die komplette Boarding Zeit zu 91,9 % mit der durchschnittlichen individuell benötigten Zeit. Lassen Airlines First Class oder Business Class Kunden zuerst in das Flugzeug einsteigen, so wurde 12 %²¹ mehr Zeit zum Boarding benötigt. [30]

²¹ In [39] wird eine Reduzierung um 20% erreicht, falls die Passagiere nicht mehr nach Klassen getrennt werden

5.1.3 America West Airlines Develops Efficient Boarding Strategies

Eine Kooperation zwischen der America West Airline und der Arizona State University mit dem Ziel die Turnaround Zeit für die Kurzstreckenflugzeuge vom Typ Airbus A320 und Boeing 737 zu verkürzen, ist in [31] beschrieben. Dabei geht es speziell um das Verkürzen der Boarding-Zeit. Diese soll verkürzt werden, indem es weniger Behinderungen der Passagiere untereinander gibt. Unterschieden wird in „Seat Interference“, also blockieren des Platzes in derselben Reihe durch einen bereits sitzenden Passagier, und das „Aisle Interference“, blockieren des Ganges durch Passagiere, die Handgepäck einladen (siehe Abbildung 5.3). Dabei wird jede Behinderung gleich bewertet, obwohl die Autoren eine höhere Gewichtung für „Aisle Interference“ vorschlagen. Allerdings sei eine genaue Wertung schwer zu bestimmen. Zur Optimierung der Simulation wurden die Passagiere der Airline gefilmt. Das Ergebnis ist das „Reverse Pyramid“ Boarding-Verfahren (Abbildung 10.8), eine Mischung aus dem standardmäßigen Back-To-Front und dem Outside-Inside Boarding. Bei letzterem ist der Mitarbeiter am Gate die entscheidende Einflussgröße auf die benötigte Zeit. So konnte die Airline durch einen zweiten Mitarbeiter die Zeit um 39 % gegenüber dem Standardverfahren verkürzen. Mit einem Mitarbeiter ergab sich eine Einsparung von 26 %. [31]

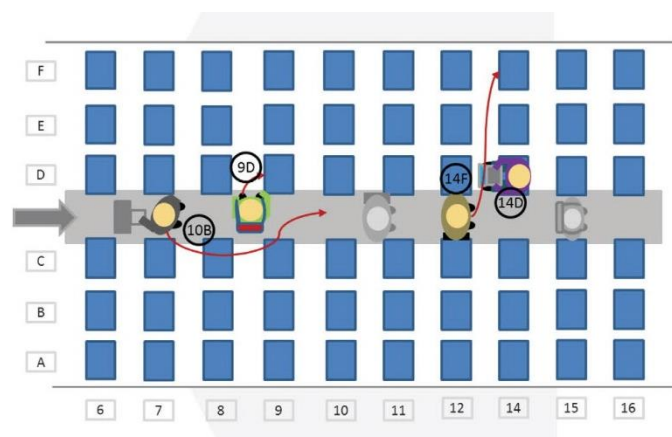


Abbildung 5.3: Aisle (links) und Seat Interference (rechts) [28]

5.1.4 Robustness of Efficient Boarding in Airplanes

Der Artikel [32] baut auf die vorherigen Forschungen auf. Grundlage sind die Ergebnisse aus [30] und deren Kurzstrecken-Flugzeug-Modell. Ergänzend hierzu werden Störungen und deren Auswirkungen auf die Robustheit des Prozesses untersucht. Als Störungen wird folgendes definiert:

- **Nichtbefolgen der Boarding Reihenfolge von Passagieren**
- **Abmessungen des Flugzeugs**
- **Auslastung des Fluges**

So wird beispielsweise die Back-To-Front Methode effizienter, je mehr Passagiere sich nicht an die vorgegebene Reihenfolge halten. Dadurch wandelt sich das Verfahren hin zu einem zufälligen Boarding und damit einer verkürzten Dauer. Der Einfluss von Passagieren die zu früh oder zu spät zum Boarding erscheinen ist dabei gleich groß. In der Simulation wird von einem Boarding über die vordere Tür ausgegangen. Wie bereits in [30] wurde die Belegung der Overhead-Compartments berücksichtigt, jedoch nicht direkt die zusätzliche Zeit die ein Passagier benötigt, falls das nächstgelegene Fach bereits belegt ist. Dennoch steigt die benötigte Zeit zum Verstauen des Gepäckstücks mit zunehmender Belegung. Das Modell der Passagiere ist ebenfalls ähnlich zu [30], nur die Zeit zum wieder Hinsetzen ist wesentlich kürzer gewählt. Mit in Betracht gezogen wurde nicht nur die durchschnittliche Dauer, sondern auch die schlechteste durchschnittliche Dauer²². Dabei zeigte sich, dass Verfahren mit guten durchschnittlichen Boarding Zeiten auch bei der schlechtesten durchschnittlichen Dauer gut abschnitten. Die freie Sitzwahl ist ungeeignet für schnelles Boarding bei hohe Auslastung. Eine abweichende Flugzeugkonfiguration, acht Sitze pro Reihe anstatt sechs, führte bei der schnellsten Methode zu fast keiner Veränderung obwohl die letzten beiden Passagiere einer Reihe wesentlich mehr Zeit zum Verstauen des Gepäcks benötigen. Daraus wurde geschlossen, dass die Zeit zum Verstauen des Handgepäcks nur einen kleinen Anteil an der gesamten

²² Schlechteste durchschnittliche Dauer = Durchschnittliche Dauer + 3* RMSE (Wurzel aus den mittleren quadratischen Abweichungen der Boarding-Dauer)

Boarding Dauer ausmacht. Die besten Ergebnisse erzielten die Boarding-Group-Verfahren (Outside-Inside und Reverse-Pyramid), die sich ebenfalls als sehr robust gegenüber den vorher definierten Störungen verhielten.

5.1.5 Optimal boarding method for airline passengers

In [33] wird ein Markov Chain Monte Carlo Algorithmus und eine Computersimulation genutzt, um die optimale Boardingstrategie zu identifizieren. Dabei wurde angenommen, dass das Verstauen des Handgepäcks der dominante Zeitfaktor beim Boarding ist. Es werden Plätze für 120 Passagiere mit 20 Reihen und jeweils sechs Sitzen pro Reihe simuliert. Gepäck wird nur über dem jeweiligen Sitzplatz verstaut. Das Ergebnis ist die sogenannte Steffen Methode (siehe Abbildung 10.9). Dabei erfolgt das Boarding von den gleichen Positionen (Fenster, Mitte, Gang) mit zwei Reihen Abstand zueinander von hinten nach vorne. So werden die Passagiere über die gesamte Länge des Flugzeugs verteilt und die Störungen minimiert, da genügend Platz zum Hinsetzen und Einladen des Gepäcks vorhanden ist. Als schwierig erweist sich allerdings die Durchführung in der Praxis, da eine strikte Einhaltung der Reihenfolge nötig ist. Um ein Boarding in halben Blöcken mit ähnlichen Vorteilen durchzuführen, wurde das optimale Steffen Verfahren modifiziert. So werden immer halbe Reihen einer Seite mit jeweils einer Reihe Unterschied an Bord gelassen (siehe Abbildung 10.10). [33]

5.1.6 Speeding up the airplane boarding process by using pre-boarding areas

Das Institut für Datenanalyse und Prozessdesign der Schweizer ZHAW hat sich in [8] ebenfalls mit dem Verkürzen des Turnarounds beschäftigt. Dazu wurden acht Flüge der Swiss in Zürich auf Video aufgezeichnet, analysiert und mit ihnen später das erstellte Matlab Modell kalibriert. Als Flugzeugtyp wurde ein Airbus A321 modelliert. Bei den Beobachtungen wurde folgende Verteilung an Handgepäck festgestellt: 45 % hatten kein Handgepäck oder verstauten dieses unter dem Vordersitz, 40 % hatten ein Handgepäckstück und 15 % mehr als zwei (Vergleich Tabelle 5.1). Es wurde die Annahme getroffen, dass zehn Prozent der Passagiere bereit sind einen hinter ihnen stehenden Fluggast vorbei zu lassen, falls sie Handgepäck einladen. Dazu wurde eine Reaktionszeit von 0,5 Sekunden angenommen. Untersucht wurden lediglich das Back-To-Front Boarding und das Boarding ohne fest zugeteilten Sitzplatz über eine Tür.

Besonders bei weniger zulässigem Handgepäck ließen sich zwei bis vier Minuten sparen. Wird die Anzahl der Passagiere mit zwei oder mehr Handgepäckstücken von 15 % auf fünf Prozent reduziert, so kann die Boarding Zeit um bis zu vier Minuten verkürzt werden. Dagegen verkürzen die vorgeschlagenen „Pre-Boarding-Areas“ die Boarding Zeit um weniger als eine Minute. [8]

5.1.7 Experimental test of airplane boarding methods

Um die Ergebnisse aus [33] auch in Versuchen zu testen, wurde ein Kabinenmodell einer Boeing 757 mit 12 Reihen und 6 Sitzen pro Reihe in [34] genutzt. Getestet wurden 5 Boarding-Verfahren mit 72 Passagieren verschiedenen Alters:

- **Back-To-Front**
- **Vier-Reihen-Blöcke**
- **Outside-Inside**
- **Steffen Methode**
- **Zufälliges Boarding mit festgelegtem Sitzplatz**

Die Passagiere hatten dabei entweder zwei Gepäckstücke, ein Gepäckstück oder gar keins. Am effizientesten war die Steffen Methode gefolgt von Outside-Inside. Es wurde außerdem eine unterschiedliche Wichtigkeit von Aisle-Interference festgestellt. Bei der Steffens Methode findet die Aisle-Interference besonders im vorderen Teil der Kabine statt, wodurch mögliche Verzögerungen im hinteren Teil der Kabine einen geringeren Einfluss haben oder sich in der Zwischenzeit auflösen. Dies kann auch dazu genutzt werden um in Gruppen reisende Passagiere genau in einen solchen Bereich zu legen, damit sie mehr Zeit zum gemeinsamen Verstauen und Einnehmen des Sitzplatzes bekommen. Gegenüber dem Boarding in Blöcken war das Outside-Inside Boarding 1,7 mal so schnell und die Steffen Methode fast doppelt so schnell. [34]

5.1.8 The Flying Carpet

Der Flying Carpet ist ein 2,4 x 8 Meter großer Teppich, auf dem eine verkleinerte Nachbildung der Sitzplätze in der Kabine zu sehen ist. Passagiere sollen in Gruppen von 30 – 40 Personen auf den Teppich gelassen werden und sich anschließend selbstständig verteilen. Dabei sind die Maße so klein, dass ein Passagier mit Gepäck benachbarten Sitze in der Reihe oder Plätze vor und hinter sich blockiert. Nachdem sich eine Gruppe von Passagiere geordnet hat, verlassen sie den Teppich in Richtung Flugzeug und die nächsten Passagiere dürfen auf den Teppich gehen. So sollen die Passagiere in der Kabine genug Platz haben, um ihr Handgepäck zu verstauen oder ihren Sitzplatz einzunehmen ohne Wartezeit im Gang. [35] Benötigt wird eine Einweisung der Passagiere für den Flying Carpet durch mindestens einen Mitarbeiter der Airline. Dennoch besteht das Problem, dass bereits sitzende Fluggäste wieder aufstehen müssen, um ein Vorbeilaufen in der Reihe vom Gang in Richtung Fenster zu ermöglichen. Nicht erklärt wird, was mit mehreren Passagieren der gleichen Reihe geschieht, falls sie sich in einer Gruppe, zum Anordnen auf dem Teppich, befinden. Bei einer zufälligen Platzwahl ergibt sich durchaus ein kostengünstiges und einfach zu verstehendes Boarding-Verfahren, welches das Problem aus der engen Kabine in das Terminal vorverlegt. Allerdings wissen Passagiere von späteren Gruppen nicht, welche Plätze bereits belegt sind. Hier könnte ein digitales Display anstatt eines Teppichs Abhilfe schaffen und interaktiv die Belegung anzeigen.

5.1.9 An aircraft boarding model accounting for passengers' individual properties

In [36] wird besonders auf die individuellen Eigenschaften der Passagiere während des Boardings eingegangen. Die Autoren vergleichen das Verhalten von Passagieren mit Fußgängern und versuchen dieses mit Einflussfaktoren zu beschreiben. So hat jeder Mensch eine individuelle Zeit zum Ticket scannen am Gate, einräumen des Handgepäck, bevorzugte Geschwindigkeit beim Laufen mit und ohne Handgepäck und vieles mehr. Ebenfalls beachtet wurden Verhaltensweisen, wie das Überholen oder das Wechseln ihrer Position während des Wartens. Besonders beim zufälligen Boarding sind Störungen ausgeprägt. Ihre entwickelte Strategie sieht ein Boarding in drei geordneten Blöcken vor, die nach den individuellen Verhaltensweisen der Passagiere geordnet wurden. Dadurch könnten Verstopfungen, Überholen, Wechseln der Position in der Schlange und das Behindern beim Einnehmen des Sitzplatzes komplett verhindert werden. Dabei ist zu beachten, dass die verwendeten Daten

nicht durch empirische Daten verifiziert oder kalibriert wurden und die Autoren nicht die Umsetzbarkeit in der Realität geprüft haben. [36] Somit ist der Ansatz interessant, aber in der Realität schwierig umzusetzen. Es ist kaum möglich die spezifischen Eigenschaften jedes Passagiers im Vorhinein zu kennen und in das Boarding zu integrieren. Auch das nicht Befolgen der Reihenfolge durch verspätete Passagiere wurde nicht untersucht.

5.1.10 Analyse der Verzögerungen beim Boarding von Flugzeugen und Untersuchung möglicher Optimierungsansätze

Die Dissertation [12] versucht die Fragen zu klären, warum die in den vorigen Abschnitten beschriebenen nicht-traditionellen Boarding-Verfahren von vielen Airlines nicht angewendet werden. Es werden drei Möglichkeiten genannt, ein neues oder bestehendes Verfahren in seiner Anwendung zu festigen:

- **Robustheit des Verfahrens gegen Störungen erhöhen**
- **Technische Hilfsmittel, die Passagiere leiten**
- **Akzeptanz der Passagiere gegenüber dem Verfahren erhöhen**

Bei der Computersimulation einer A320 Kabine mit Business und Economy Bestuhlung wird von einer Fehlerquote von zehn Prozent ausgegangen, also dass zehn Prozent der Passagiere die geplante Reihenfolge nicht einhalten. Die Simulation wird mit Tomics, einer Simulationssoftware des DLR, durchgeführt. Den Passagieren werden verschiedene Attribute zugewiesen und ähnliche Attribute in Gruppen zusammengefasst. Dabei wird grundsätzlich zwischen Geschäftsreisenden und Touristen als Passagiergruppe unterschieden. Diese Daten sind im Projekt *ASSET* sehr detailliert aufgeführt. Ebenso wird die Art des Handgepäck unterschieden (Trolley, Rucksack, Tasche, Jacke, ...). In Diagramm 5.2 ist deutlich zu sehen, dass der Anteil an Passagieren mit zwei Handgepäckstücken oder einer angezogene Jacke einen größeren Einfluss auf die Boarding Zeit haben als die Reiheninterferenzen. Als Reiheninterferenz wird hier das Blockieren der Sitzreihe zum Sitzplatz des ankommenden Passagiers bezeichnet.

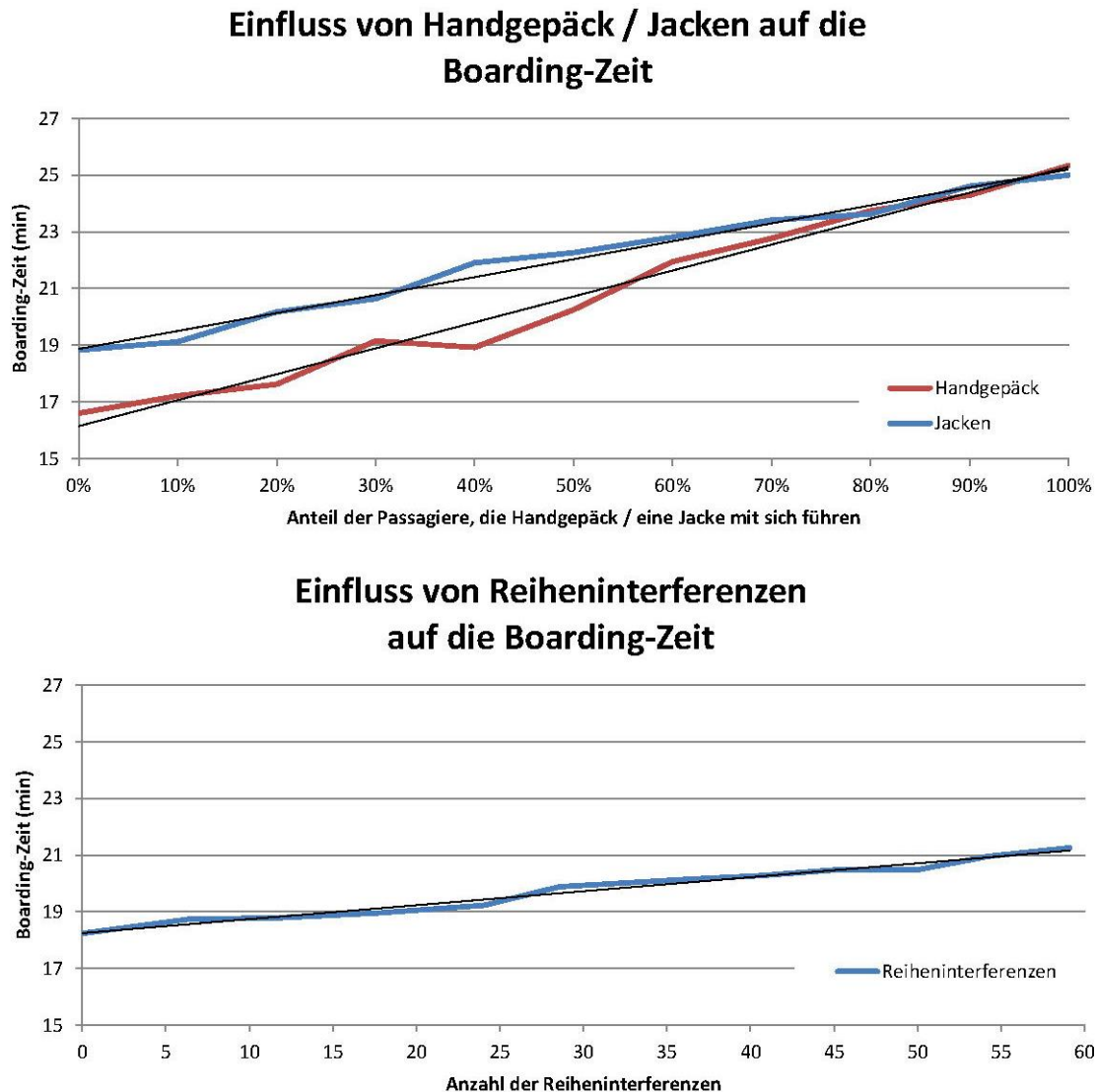


Diagramm 5.2: Einfluss von Parametervariationen auf das Boarding²³ [12]

Mit einbezogen wurde auch eine Online Umfrage des Instituts für Luft- und Raumfahrtssysteme der RWTH Aachen²⁴. 94 Passagiere wurden nach ihrer Akzeptanz für Boarding-Verfahren und deren Anforderungen an das Boarding gefragt. Akzeptabel wurden das Back-To-Front und das

²³ Back-To-Front Boarding, obere Abbildung: Anteil der Passagiere mit 2 Handgepäckstücken, Rest kein Handgepäck, untere Abbildung: Anteil der Passagiere mit angezogenen Jacken, Rest keine Jacke

²⁴ A. Bögershausen 2012: Empirische Untersuchungen des Einsteigerverhaltens von Passagieren beim Boarding von Flugzeugen, Studienarbeit

zufällige Einsteigen mit Reservierung empfunden. Für einige Befragte war das Trennen von Passagiergruppen (besonders Familien) ein Ausschlusskriterium für ein anderes Verfahren. Übermäßig viel Handgepäck, das nicht alleine in das dafür vorgesehene Fach über den Sitz gepackt werden kann, und eine besondere Eile solcher Passagiere, möglichst früh in die Kabine gelassen zu werden, wurde ebenso als störend aufgeführt wie das Sortieren des Gepäcks vor dem Einnehmen des Sitzplatzes. Der Autor sieht darin keinen konkreten Nachteil für ein Boarding-Verfahren, denn bei allen Verfahren müsse Handgepäck verstaut werden. Kritisiert wurde ebenfalls die schlechte Information beim Aufruf zum Boarding, da Durchsagen nicht verstanden wurden. Diese Bemerkungen sind lediglich als Tendenz zu sehen, da der Umfang der Stichprobe zu gering ist. In Abbildung 10.6 wird der Einfluss einzelner Parameter auf das Boarding-Verfahren im Vergleich zu Back-To-Front aufgelistet.

Letztendlich werden drei Ansätze als sinnvoll erachtet:

- **Reservierung fester Sitzreihen anstatt Sitzplätzen**
- **Bessere visuelle Darstellung des Boarding-Verhaltens am Gate**
- **Sitzplatzanpassung für Passagiere mit Transferflügen**

Bei der Reservierung von Sitzreihen werden die Verfahren Back-To-Front und Outside-Inside kombiniert, um auch das Boarding von Gruppen zu ermöglichen. Dabei wurde eine Zeitersparnis (im Idealfall) von 15,8 % erreicht, falls sich alle Passagiere an die Vorgaben halten und von außen nach innen ihren Sitzplatz einnehmen. Die Verbesserung durch eine effektivere visuelle Darstellung des Boarding-Verhaltens geht davon aus, dass sich bestimmte Störungen während des Boardings vermeiden lassen. So können unter anderem falsch belegte Plätze, Nutzen einer nicht optimalen Tür zum Boarding (beim Boarden mit zwei Türen auf dem Vorfeld), Umsortieren des Gepäcks und das Ausziehen von Jacken in der Kabine verhindert werden. Dies sorgt im Optimalfall für eine 12 % schneller Boardingzeit und ist mit wenig Aufwand umsetzbar. Der letzte Ansatz sieht für Passagiere mit anschließendem Transferflug einen Sitzplatz vor, der möglichst nah am Ausgang liegt. So können Verspätungen für den Anschlussflug verhindert werden, da der Passagier nur die Hälfte der maximalen Deboarding-

Zeit benötigt²⁵, falls sich der Sitzplatz maximal in der Mitte des Flugzeugs befindet. Da diese Ansätze jeweils andere Bereiche des Boardings/Deboardings betreffen, können sie auch kombiniert werden. So brachte die Kombination der ersten beiden Ansätze eine Reduzierung der Referenzzeit um 20 % bei einer geringeren Standardabweichung, also einer größeren Prozessstabilität. Durch die Simulationen wurde ebenfalls festgestellt, dass die Reduzierung der Reiheninterferenzen etwa 14 % Verbesserung gegenüber dem Back-To-Front Verfahren bietet. Die effektivere Ausnutzung der Ganglängen führte zu einer Steigerung um etwa 12 %. Eine Kombination von beiden findet sich in den Verfahren Outside-Inside und Reverse-Pyramid. [12]

5.1.11 Foldable Passenger Seat



Abbildung 5.4: Klappbarer Passagiersitz von Sii Engineering [37]

Die AIDA Development GmbH (heute Sii Engineering) hat einen klappbaren Sitz entwickelt. Dieser soll den Passagieren die Möglichkeit geben den Gang frei zu machen, während sie Handgepäck einladen oder auf den Durchgang zu ihrem Sitzplatz warten. [37] Laut

²⁵ Für den Fall, dass nur die vordere Tür zum Deboarding genutzt wird

Untersuchungen sind Einsparungen von bis zu 60 % beim Boarding ermittelt worden²⁶. Allerdings müsste das Handgepäck dann praktisch senkrecht von dem Passagier über seinen Kopf gehoben und dann verstaut werden, da ihm der nötige Raum zum Anheben vor seinem Körper durch den kürzeren Abstand zum Overhead-Bin versperrt wird (siehe Abbildung 3.3). Dies könnte für große und relativ schwere Handgepäckstücke ein Problem darstellen. Außerdem erhöht sich die Masse, pro Sitzbank mit drei Plätzen, um 10,1 kg und letztendlich die *DOC*, selbst bei einer Verkürzung der Ein- und Aussteigezeiten um 30 %. Dadurch ist der Klappsitz zu unwirtschaftlich. [38]

5.2 Zusammenfassung Boarding

Bei den Untersuchungen kamen sowohl Simulationen als auch analytische Methoden zum Einsatz. Dabei wurde in den meisten Ansätzen die Reihenfolge des Einsteigens verändert, um Störungen der Passagiere untereinander zu minimieren. In wenigen Fällen wurden sogar Boarding-Verfahren in Flugzeugkabinen mit Passagieren getestet. Eine Übersicht der verschiedenen Arbeiten wird in Tabelle 5.2 dargestellt.

²⁶ Studienarbeit an der TU Berlin von M. Hertl: Bewertung einer Klappsitzoption in Hinblick auf Bewegungsabläufe in der Fluggastkabine eines Verkehrsflugzeugs

Kapitel	Flugzeugtyp	Analytisches Modell	Computersimulation	Versuche in Kabine	Analyse bestehender Daten	Beobachtungen von Boardings	Änderung der Boardingreihenfolge	Boarding über mehrere Türen	Verschiedene Auslastungen	Modellierung der Handgepäckverteilung	Modell für Overhead-Compartment-Belegung	Ursachen für Verzögerungen	Schnellstes Verfahren	Empfohlenes Verfahren
5.1.1	757		x	x	x	x	x	x				Handgepäck, demografischer Wandel, Fluglänge, Airlines	Outside-Inside über zwei Türen	"
5.1.2	-		x	x	x	x	x	x	x	x	x	Kabineneinrichtung (Overhead-Compartment, Sitze)	Variante der Gruppe By-Seat	Halbe-Reihen
5.1.3	A320/737	x	x	x		x	x					Flugzeugdesign, Boardingreihenfolge	Reverse-Pyramid	"
5.1.4	-		x				x		x	x	x	Verhalten der Passagiere, Boardingreihenfolge	Variante der Gruppe By-Seat	Reverse Pyramid, Outside-Inside
5.1.5	-		x				x			x		Einladen des Handgepäck	Steffen Methode	Modifizierte Steffen Methode
5.1.6	A321		x			x	x			x		Flughafeninfrastruktur, Airline, Flugzeugtyp	Zufällig	Pre-Boarding Area, Zufälliges Boarding mit weniger Handgepäck
5.1.7	757			x		x	x					Aisle-Interference	Steffen Methode	"
5.1.8	-						x					Aisle-Interference	Vorheriges Anordnen auf Flying Carpet	"
5.1.9	- (A321)	x					x					Eigenschaften der Passagiere bei zufälligem Boarding	Anordnen der Passagiere nach Eigenschaften	Drei Gruppen, jeweils geordnet nach Eigenschaften
5.1.10	A320		x				x			x		Handgepäck, Interaktion und Verhalten der Passagieren	Reservierte Sitzreihen und visuelle Darstellungen	"
5.1.11	-	?	?									Aisle-Interference	Boarding mit Klappstz	"

Tabelle 5.2: Übersicht der Optimierungsansätze des Boardings

In fast allen Untersuchungen wurde gezeigt, dass das häufig genutzte Back-To-Front Verfahren am längsten dauert. Das Boarding in Blöcken oder in Reihen wird daher als traditionelles Verfahren bezeichnet. Durch ein nicht-traditionelles Boarding-Verfahren, wie Reverse-Pyramid oder Outside-Inside, kann die Boarding-Dauer reduziert werden. Die Airline könnte jährlich ungefähr 35% der Kosten für die ungenutzte Standzeit am Boden zwischen den Flügen einsparen, falls es durch das verkürzte Boarding auch zu einem verkürzten Turnaround kommt. Bei den nicht-traditionellen Verfahren werden die Boarding-Gruppen über eine größere Länge des Flugzeugs verteilt und die Reihenfolge der einsteigenden Passagiere angepasst, um möglichst wenig Störungen untereinander hervorzurufen. Dabei wurde in einigen Simulationen davon ausgegangen, dass ein Überholen im Gang nicht möglich ist ([30] und [39]) oder nur sehr wenig genutzt wird ([8]). Weitere Einsparungspotenziale sind in Tabelle 5.3 aufgelistet. Das Boarding mit zwei Türen bezieht sich dabei auf die Beobachtungen von [29].

Verfahren	Durchschnittliche Boardingzeit [min]	Kosten pro Jahr [\$]	Ersparnis gegenüber traditioneller Methode [%]
Traditionell	30,33	498.170,250	-
Nicht-traditionell	19,78	324.886,500	35
Nicht-traditionell, ein Handgepäckstück	15,18	249.331,500	50
Nicht-traditionelle, kein Handgepäck	8,18	134.356,500	73
Nicht-traditionell, zwei Türen und zwei Handgepäckstücke	14,78	242.761,500	51
Nicht-traditionell, zwei Türen und ein Handgepäckstück	10,18	67.206,500	66

Nicht-traditionell, zwei Türen und kein Handgepäck	3,18	52.231,500	90
---	------	------------	----

Tabelle 5.3: Einsparpotenzial durch Boarding-Verfahren [40]

Die Kosten wurden, unter der Annahme von Flugbetrieb an 365 Tage im Jahr und einer Auslastung von 100%, mit folgender Formel berechnet:

$$C = ((B * M) * D) * 365$$

C = Jährliche Kosten [\$]

B = Durchschnittliche Boardingzeit [min]

M = Kosten pro Minute am Boden [\$] = 30\$

D = Anzahl an täglichen Flügen [= 1500 [40]

Lufthansa hat im Jahr 2005 die nicht-traditionellen Methoden Outside-Inside und Zufälliges Boarding bei 85.000 Passagieren auf 450 Flügen getestet und ist bei ihrem bisherigen Verfahren geblieben. [41] Genaue Gründe für diese Entscheidung sind nicht bekannt. Ursache könnten nur geringe Einsparungen sein, eine starke Verminderung des Kundenkomforts (Trennung von Gruppen/Familien) oder Simulationsergebnisse, welche das echte Verhalten von Menschen nur unzureichend abbilden können (Vergleich Abschnitt 5.1.10).

Dass ein nicht-traditionelles Boarding-Verfahren auch im echten Einsatz zu Verkürzungen über 25 % führen kann, zeigt das Beispiel von America West Airline aus Kapitel 5.1.3. Allerdings wurde nach der Fusion mit US Airways und später America Airlines dieses Verfahren nicht weiter angewendet. [42]

In den nächsten 20 Jahren wird sich der Luftverkehr mehr als verdoppeln. Der Passagierverkehr wird bis 2035 um 4,5 % pro Jahr steigen. [1] Gleichzeitig steigt das Gewicht des Standardpassagiers, inklusive Handgepäck. Es gibt außerdem deutliche Anhaltspunkte, dass die Passagiere häufiger schweres Gepäck mit in die Kabine nehmen. [43]

Nach dem Absturz von Air Midwest Flug 5481 am 8. Januar 2003 fanden die Flugunfallermittler heraus, dass neben technischen Problemen mit dem Höhenruder auch eine falsche Schwerpunktlage zum Absturz geführt haben. In Untersuchungen des National Transportation Safety Boards (*NTSB*) wurde das Passagiergewicht mit persönlichen Gegenständen durchschnittlich um 9,36 kg überschritten, das Handgepäck um 2,59 kg und das eingetragene Gepäck um 1,73 kg. In der Summe führt dies zu 13,68 kg mehr als angenommen. Die in AC 120-27E angegebenen Passagiergewichte wurden daraufhin 2005 um fast 7 kg erhöht. [43]

Als Ursachen zu sehen sind das weltweit gestiegene Körpergewicht sowie ein größerer Anteil an übergewichtigen Menschen, was auf ungesunde Ernährung und mangelnde körperliche Bewegung zurückzuführen ist. Aber auch Gepäckbestimmungen der Airlines können das Verhalten der Passagiere beeinflussen und so zu einer neuen Verteilung des Gepäcks in der Kabine und dem Frachtraum führen. So variiert das zulässige Gewicht für Handgepäck zwischen 5 kg (Thomson) und 23 kg (Britisch Airways), wie in Tabelle 5.4 dargestellt. [43] Bei Easyjet gibt es gar keine Begrenzung des Gewichts. Das Gepäckstück, mit vorgegebenen Maßen, muss lediglich von dem Passagier selbstständig aus- und wieder eingeladen werden können. [44]

Maximum allowed	Mean	n	Std.dev.	Accuracy (%)	Conf. Range (95%)
5 kg	4.2	1,504	3.6	4.3	0.18
6 kg	6.3	2,408	4.5	2.9	0.18
7 kg	6.7	443	4.3	6.0	0.40
8 kg	6.9	5,460	4.7	1.8	0.13
9 kg	6.8	263	4.7	8.3	0.56
10 kg	6.2	2,588	4.3	2.7	0.17
12 kg	7.1	1,876	4.8	3.1	0.22
13 kg	7.7	17	5.0	30.7	2.38
14 kg	7.3	44	5.5	22.5	1.64
15 kg	10.4	9	6.1	38.3	4.00
16 kg	8.2	355	5.5	6.9	0.57
18 kg	6.9	794	4.7	4.7	0.32
20 kg	7.2	138	4.6	10.7	0.77
23 kg	7.4	499	5.0	5.9	0.43
Total	6.5	16,398	4.6	1.1	0.07

* The luggage allowances have been retrieved from the websites from the airlines and can vary depending on different flight classes and distance and flight length (on long haul flights the checked baggage allowance can be higher than on short or medium haul). Please refer to 2.2.5

Source: NEA

Tabelle 5.4: Maximal zulässiges und durchschnittliches Gewicht für Handgepäck (Stand: Mai 2009) [43]

Boeing reagiert auf diese veränderten Randbedingungen mit den optional erhältlichen Space-Bins für die Boeing 737. Diese Ablagefächer bieten Platz für sechs anstatt vier Koffer/Trolleys in Handgepäckgröße²⁷, da sich jetzt die Koffer seitlich einräumen lassen. Dafür sind die Fächer in ihrer Höhe gewachsen und die Ladekante für Passagiere wurde um drei inch nach unten gesenkt. Durch den neuen Stauraum wird es Passagieren ermöglicht, ihr Gepäck schneller und näher an ihrem Sitzplatz zu verstauen. Das soll sich ebenfalls auf die Turnaround-Zeit auswirken. Die größeren Overhead-Bins lassen sich in bereits ausgelieferten Boeing 737-700 und -800 nachrüsten. Ein Vergleich der beiden Systeme ist in Abbildung 5.5 zu sehen. [45]

²⁷ 56 x 23 x 36 cm



Abbildung 5.5: Boeing 737 Space Bins und standardmäßige Overhead-Bins [45]

Auch für den A320 gibt es eine Option auf größere Overhead-Bins. Die sogenannte „pivoting overhead bin option“ soll die größte Kapazität für Handgepäck in einem Single-Aisle-Flugzeug bieten und bis zu 60 % mehr Handgepäck in der Kabine erlauben. Airbus kommt damit den gestiegenen Erwartungen der Passagiere nach mehr Stauraum in der Kabine nach. Das System kann, wie bereits bei Boeing, ab Werk oder als Nachrüstsatz gekauft werden. [46]

Neben Passagieren der Low Cost Airlines nutzen auch viele Geschäftsleute und Kurzstreckenpassagiere vermehrt ihr Kontingent an Handgepäck, da es Zeit bei der Gepäckaufgabe und Abholung spart. [9] So haben Geschäftsreisende im Schnitt 1,4 kg schwereres Handgepäck als Touristen. Wird kein Gepäck aufgegeben, erhöht sich das Handgepäck durchschnittlich um 1,5 kg. [43] In Rucksäcken kann außerdem zusätzliches Essen und Trinken, Tablets, Bücher, Zeitungen und Fotoausrüstung mit in die Kabine gebracht und dort genutzt werden. Diese Annahme wird durch die Parameter des Referenzsystems des Projekts *ASSET* in Tabelle 5.5 bestätigt, da nur jeweils 5 % der Geschäftsreisenden und 10 % der Touristen kein Handgepäck mitführen.

Attribut	Ausprägung	PAX-Gruppe 1	PAX-Gruppe 2
		Geschäftsreisende	Touristen
Passagiere (gesamt)	-	42%	58%
Gebuchte Klasse	Business	35%	15%
	Economy	65%	85%
Handgepäck	keines	5%	10%
	Rucksack/Tasche	43%	63%
	Trolley	47%	24%
	Rucksack und Trolley	5%	3%
Jacken	keine	40%	40%
	ausgezogen	33%	33%
	angezogen	27%	27%
Gruppengröße	eine Person	100%	100%

Tabelle 5.5: Passagierparameter²⁸ des Referenzsystems von ASSET [12]

Auch für die Turnaround-Zeit ist der Umfang des Handgepäckes von entscheidender Bedeutung. Viele der in Abschnitt 5.1 vorgestellten Untersuchungen haben das Verstauen des Handgepäckes und deren Folgen als eine Ursache von Verzögerungen während des Boardings identifiziert. Ein direkter Zusammenhang von der Anzahl der Handgepäckstücke zur Boarding Zeit kann in Tabelle 5.6 gesehen werden.

Handgepäckstücke	Durchschnittliche Boarding Zeit in Minuten	Durchschnittliche Ersparnis in Minuten
2	19,78	
1	15,18	4,6
0	8,18	11,6

Tabelle 5.6: Boarding Zeit bei Veränderung des Handgepäckes (in Anlehnung an [40])

²⁸ [43] kommt bei einer Untersuchung von 22.901 Flügen von europäischen Flughäfen auf ein Verhältnis von 68,7 % Touristen und 31,3 % Geschäftsreisenden

Eine genauere Unterteilung der angenommenen Prozesszeiten nach Passagieren und deren Handgepäck findet sich in Tabelle 5.7. Dabei wird den Geschäftsreisenden eine höhere durchschnittliche Laufgeschwindigkeit von 0,75 m/s gegenüber den Touristen mit 0,56 m/s zugewiesen. [12] In [9] werden das schnellere Einladen von Gepäck und die höhere Bereitschaft andere Passagiere vorbei zu lassen (und damit eine kürzere Turnaround-Zeit zu ermöglichen; siehe Diagramm 5.6) mit einer sogenannten „Smartness“ gekennzeichnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass Vielflieger und Geschäftsreisende eine höhere Smartness aufweisen. [9]

		PAX-Gruppe 1			PAX-Gruppe 2		
		min	most	max	min	most	max
Verstauzeit des Handgepäckes [sec]	keines	0	0	0	0	0	0
	Tasche/Rucksack	5	10	20	5	10	25
	Trolley	5	10	20	5	10	25
	Tasche und Trolley	5	15	20	5	15	25
Verstauzeit der Jacken [sec]	keine	0	0	0	0	0	0
	ausgezogen	1	2	4	1	2	4
	angezogen	4	7	12	4	7	12
Allg. Zeit zum Betreten der Sitzreihe [sec]	1st/bus	1	2	3	1	2	3
	eco	1	2	3	1	2	3
Benötigte Zeit zum Vorbeilassen eines PAX bei blockierter Sitzreihe (je PAX) [sec]	1st/bus	5	6	10	5	6	10
	eco	5	8	15	5	10	15

Tabelle 5.7: Prozesszeiten für verschiedene Passagierattribute im Referenzsystem von ASSET [12]

Auf die steigende Nutzung von Handgepäck wurde, mit Ausnahme der vergrößerten Overhead-Compartments, jedoch wenig reagiert. Schwere Gepäckstücke sollen weiterhin über dem Sitzplatz verstaut werden und behindern dadurch nachfolgende Passagiere. Ähnliches gilt für die Boarding-Verfahren, welche zwar eindeutig als Verzögerungsursache identifiziert wurden, aber nur selten geändert werden. Auch der Aufruf von Passagieren zum Boarding wird immer noch mit Hilfe von Lautsprecheransagen durchgeführt. Abschnitt 6 stellt neue Möglichkeiten der Optimierung des Boarding-Prozesses vor.

5.3 Loading/Unloading

Der Prozess des Be- und Entladens von Gepäck liegt bei den jetzigen Turnarounds nicht auf dem kritischen Pfad (siehe Diagramm 4.1) und ist daher von geringerem Interesse. Kann das Boarding verkürzt werden, rückt es allerdings auf den kritischen Pfad und wird von größerem Interesse. Während der genauen Analyse des Prozesses in Abschnitt 4.4 zeigte sich, dass eine Vielzahl von Handgriffen für die Bedienung der Systeme im und am Frachtraum nötig sind. Die Arbeit der Gepäckabfertiger im Frachtraum, bei der Beladung mit losen Gepäckstücken, ist körperlich besonders anstrengend und erfordert ebenfalls viel Handarbeit. Bereits entwickelte Ansätze für Automatisierung und Entlastung der Arbeiter werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

5.3.1 Ramp Snake

Durch den Einsatz von einer Ramp Snake oder eines Power Stow Systems soll die Belastung der Gepäcklader reduziert werden, da die Gepäckstücke tiefer in den Frachtraum transportiert werden können. Sie werden auf Rollen transportiert, anstatt, wie sonst üblich, über den Boden geschoben. Diese Systeme sind für Bulk Cargo in besonders niedrigen Frachträumen konzipiert und können universell eingesetzt werden. Es entfällt die Arbeit eines zweiten Gepäckladers im Frachtraum.



Abbildung 5.6: Power Stow in einer Embraer 170/190 [47]

5.3.2 Sliding Carpet

Die Firma Telair bietet ein, in den Frachtraum integriertes, Förderband mit dem Namen Sliding Carpet an. Das Gepäck kann so auf dem Band gestapelt und anschließend weiter in den Frachtraum hineingefahren werden. Dadurch kann ein Gepäckabfertiger im Frachtraum eingespart werden, der das Gepäck sonst weiter über den Frachtraumboden schieben müsste. Das System schont ebenfalls die körperliche Belastung der Arbeiter²⁹ bei niedrigen Frachträumen [25] [48]. Lade- und Entladezeit soll um 35-50 % verkürzt werden und damit einen kürzeren Turnaround ermöglichen. Der Hersteller verspricht eine hohe Zuverlässigkeit (99,9 %) und ein geringes Gewicht³⁰, unter dem Einsatz von Verbundwerkstoffen. Ebenfalls

²⁹ SAS verzeichnete nach einem Jahr Nutzung in der Boeing 737 Flotte 25 % weniger Krankmeldungen der Gepäckabfertiger (Dell, G. (2007) The Causes and Prevention of Airline Baggage Handler Back Injuries: Safe Designs required where behaviour and administrative solutions have had limited effect)

³⁰ Zwischen 160 und 250 kg pro Frachtraum [48]

wird eine geringere Beschädigung des Frachtraumbodens und des Gepäcks selber ausgewiesen. Das System kann sowohl ab Werk eingebaut oder auch nachgerüstet werden, unter anderem für verschiedene Boeing 737 und 757 Versionen sowie für die Airbus A320 Familie und MD 80. [49] Laut [27] haben sich die Kosten für das System nach einem Jahr amortisiert. Ob die angegebene Zuverlässigkeit und Ersparnisse auch im Einsatz bei den Airlines erreicht wurden, ist nicht bekannt. In einigen Fällen wurde das System kurze Zeit getestet und wieder entfernt, da die Wartungskosten über den Kosten für den zusätzlichen Gepäckabfertiger lagen. [50]



Abbildung 5.7: Sliding Carpet [49]

5.3.3 Airbus Fly Your Ideas

Bei dem Airbus Fly Your Ideas Wettbewerb 2013 gewann ein Team der Universität von Sao Paulo mit einem System, bei dem das Gepäck im Frachtraum mittels kleiner Lustdüsen schwebt. Dadurch soll die Arbeitsbelastung zum Be- und Entladen für die Gepäckabfertiger gesenkt werden und die Zeit zum Be- und Entladen um 30% verkürzt werden. [51] Ob dieses Konzept in der Praxis problemlos funktioniert, bleibt zu klären. Besonders die verschiedenen Beschaffenheiten und Formen des Gepäcks sowie die nötige Instandhaltung des Systems lassen

Zweifel zur Tauglichkeit für den täglichen Einsatz zu. Offen bleibt auch, wie der benötigte Luftmassenstrom bereitgestellt werden soll.

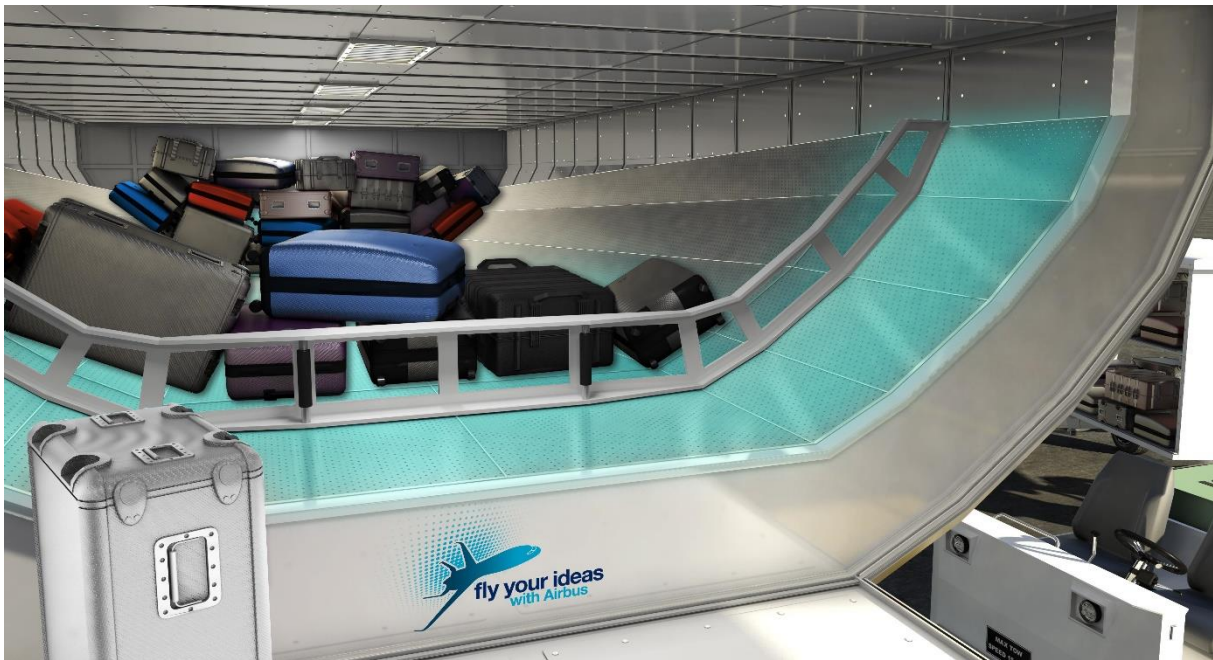


Abbildung 5.8: Luggage floating on air ©Airbus SAS 2016 – All rights reserved

5.3.4 Patent automatisch ausrichtender Cargo Loader

Die Schwellenhöhe des Frachtraums ändert sich während des Be- und Entladens ständig. Zur Kompensierung dieser Höhenunterschiede gibt es bereits seit 1987 ein Patent³¹ für einen Cargo Loader, welcher selbstständig die Höhe der Plattform anpasst. Als Lagesensor kommt dabei ein U-förmiges Rohr zum Einsatz, in dem eine leitende Flüssigkeit (im Patent Quecksilber) eingefüllt ist. Je nach Lage des Rohrs kommen unterschiedlich viele Elektroden mit der Flüssigkeit in Kontakt. Durch die unterschiedlichen Signale wird die Plattform je nach Bedarf hoch- oder runtergefahren. Der Sensor wird mit einem Saugnapf an der Außenhaut des Flugzeuges befestigt. Das andere Ende ist fest mit dem Loader verbunden (siehe Abbildung 5.9).

³¹ US4662809

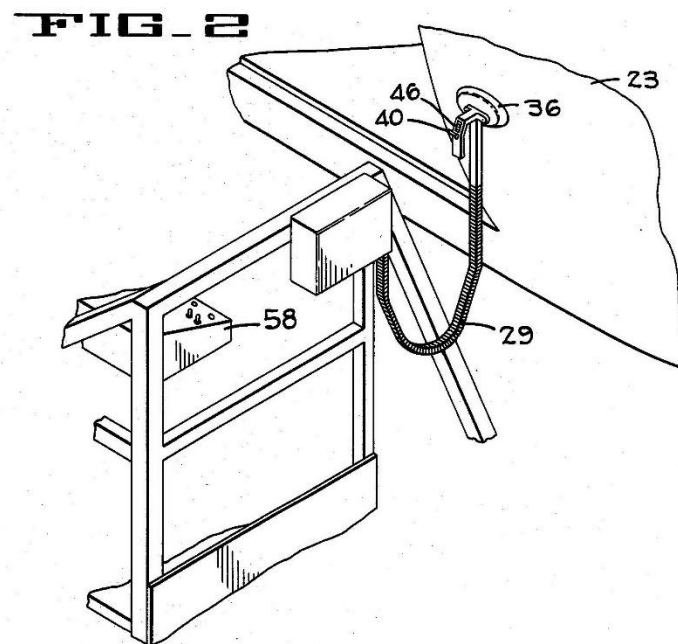


Abbildung 5.9: Automatic Level Device [52]

Anscheinend hat sich dieser Entwurf jedoch nicht durchgesetzt, da in [19] immer noch von dem Problem der ständig wechselnden Schwellenhöhen gesprochen wird. Eine überarbeitete Version eines solchen Loaders könnte nur mit optischen Sensoren die Ladekante erfassen und die Höhe automatisch anpassen. Die technische Entwicklung in den letzten 30 Jahren ermöglicht heute eine deutlich einfachere Regelung solcher Prozesse. Dennoch konnte während der Recherche kein ähnliches Gerät gefunden werden, obwohl es die Arbeit der Gepäcklader vereinfachen könnte und so Arbeitsabläufe beschleunigt werden könnten.

5.3.5 Patent Aircraft Cargo Locating System

Zur Lokalisierung und Verfolgung von *ULDs* im Frachtraum mittels *RFID* gibt es bereits ein Patent (US 7,198,227 B2) aus dem Jahr 2007. Dabei sollen die Container, an denen ein spezieller Sender (RFID-Chip oder ähnliches) angebracht ist (260 in Abbildung 5.10), im Frachtraum erkannt und durch unterschiedliche Lesegeräte (u.a. 264, 265, 282 und 284 in Abbildung 5.10) deren Position bestimmt werden. Ziel des Systems ist eine Lokalisierung in Echtzeit, mit der auch die aktuelle Schwerpunktlage des Flugzeugs bestimmt werden kann. Die Ausgabe erfolgt über ein Display im Frachtraum (266 in Abbildung 5.10). [53]

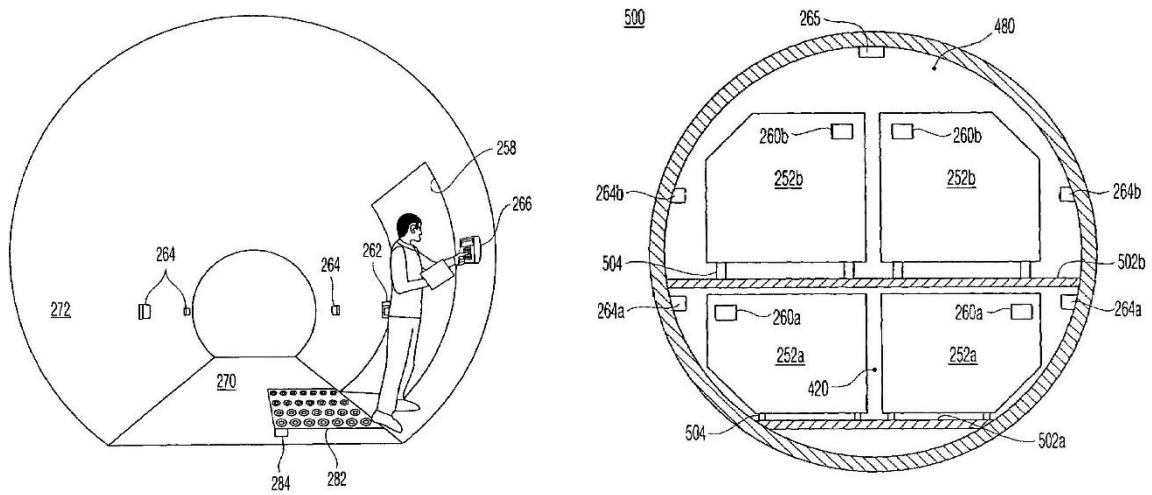


Abbildung 5.10: Prinzipskizzen des Cargo Locating Systems [53]

5.3.6 Patent Aircraft Load Management System For Interior Loads

Einen ähnlichen Ansatz wie das vorherige Patent verfolgt auch Patent US 8,694,235 B2 aus dem Jahr 2006. Hier soll die Position von Fracht (am Beispiel des Beladens eines Panzers in einen Transporthubschrauber) im Frachtraum mittels Triangulation der RFID-Chips auf dem Transportgut und im Frachtraum bestimmt werden (siehe Abbildung 5.11). Diese Daten können entweder an den Fahrer des Fahrzeugs übermittelt werden oder direkt an ferngesteuerte Fahrzeuge weitergeleitet werden, welche dann autonom ihre Position im Frachtraum einnehmen würden. So kann die benötigte Zeit zum Laden, beispielsweise in Kampfgebieten, verkürzt werden. [54]

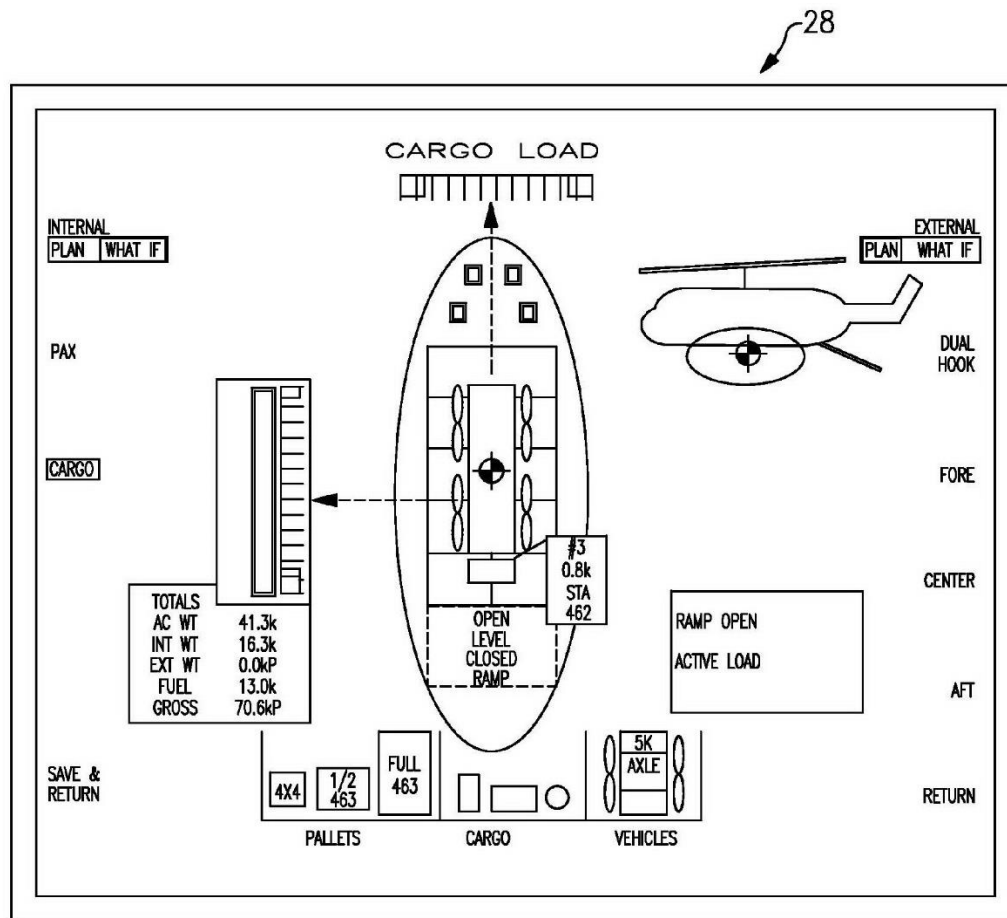


Abbildung 5.11: Aircraft Load Management System [54]

5.3.7 Patent Fully Automated Cargo Loading System

Im Patent US 8,788,085 B2 aus dem Jahr 2014 wird ein automatisches Beladesystem beschrieben, welches für den A320 gedacht ist. Kontaktlos soll die Position der *ULDs* vor und im Frachtraum erfasst und der Container anschließend in die korrekte Position transportiert werden. Dort wird der Container automatisch gesichert. Die Reihenfolge der Beladung kann dabei im Voraus festgelegt werden und anschließend drahtlos an das System geschickt werden. Beim Vergleich mit Diagramm 4.9 wird der Unterschied zu dem bisherigen Prozessablauf deutlich. Es entfällt das Steuern per Joystick und das Sichern der Container. Außerdem können die *ULDs* direkt hintereinander verladen werden, ohne eine Zwischenpause für das Sichern der Ladung. Ein solches System macht die Beladung eines flacheren Cargo Compartments möglich, da keine Rücksicht auf die Körpergröße der Arbeiter genommen werden müsste. Dazu wird

umfangreiche Software für die Regelungstechnik und eine Vielzahl von Sensoren benötigt. [55]
Eine grobe Übersicht des Prozesses befindet sich in Diagramm 5.3

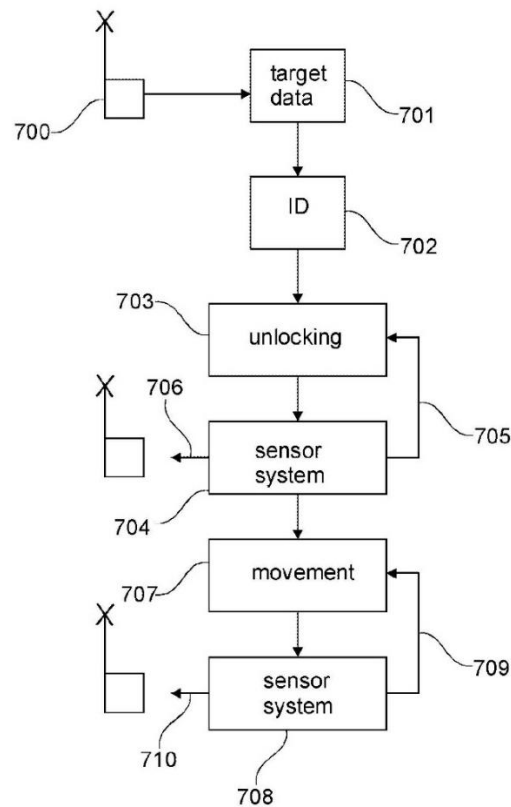


Diagramm 5.3: Flussdiagramm des Entladeprozesses [55]

5.4 Zusammenfassung Loading/Unloading

Die hier vorgestellten Ansätze für eine schneller Beladung mit losen Gepäckstücken (Bulk) sollen das Verschieben von Koffern über den Boden des Frachtraums erleichtern oder es sogar überflüssig machen. Beim Einsatz von *ULDs* soll die Position der Container zukünftig im Frachtraum bestimmt werden und so eine höhere Automatisierung ermöglicht werden. Daneben wurde die Idee eines automatisch ausrichtenden Cargo Loaders vorgestellt. Durch eine Anpassung des fast 30 Jahre alten Konzepts, könnte es die Verzögerungen bei der Beladung durch eine wechselnde Schwellenhöhe verhindern.

Auf das Problem von Gepäckstücken eines „No-Show“ wurde jedoch nicht eingegangen. Dabei ist das Ausladen von Gepäck eines solchen Passagiers in 7,4 % der betrachteten Datensätze³² in [5] eine Ursache für eine Verspätung des Abfluges und ist damit, neben dem Wechsel des Flugzeugs (17,9 %) und einer überfüllten Rampe (15,2 %), der dritthäufigste Grund. In 50 % der Fälle beträgt die Verzögerung dadurch weniger als 10 Minuten. Muss Gepäck mit einer höheren Priorität wieder ausgeladen werden, weil ein Fluggast eing_checked hat aber nicht an Bord gegangen ist, verspätet sich der Abschluss des Beladens um durchschnittlich 2,5 Minuten. Handelt es sich um normales Gepäck, was in 8 % der betrachteten Fälle zutrifft, verzögert sich der Prozess um 5,66 Minuten im Durchschnitt. Die führt jedoch nicht zu Verzögerungen, falls ausreichend Pufferzeit vorhanden ist. Damit wird die Häufigkeit der Kategorien unterschätzt, gleichzeitig aber die Verspätungszeit überschätzt. Weitere Ursachen sind in Diagramm 5.4 aufgelistet. [5]

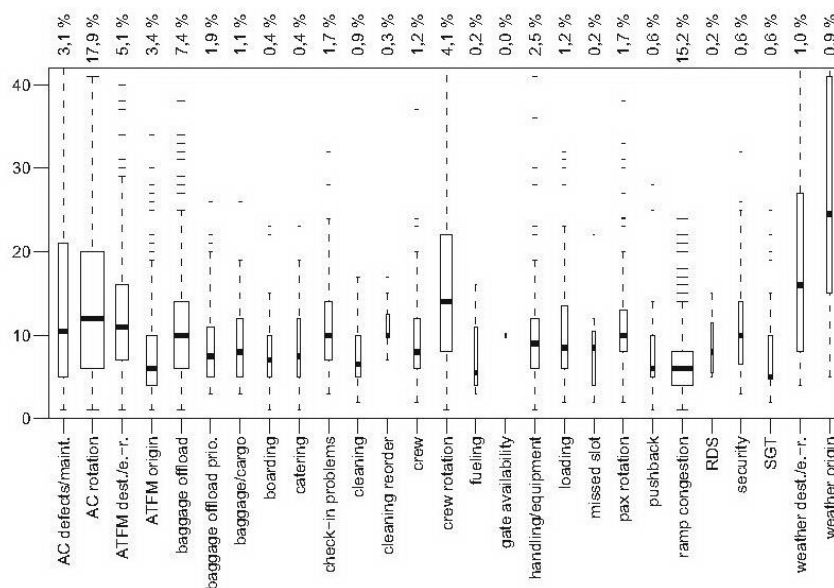


Diagramm 5.4: Verteilung der Verspätungszeiten nach Verspätungsklassen [5]

³² 6.502 Turnarounds mit Brückenabfertigung von Lufthansa am Flughafen Frankfurt am Main zwischen dem 16.05.2006 und dem 15.08.2006 mit den Flugzeugmustern Airbus A319/20/21 und Boeing 737-300/500

Diese Problematik würde sich nicht ergeben, falls die ICAO in Annex 17 das Mitführen von Gepäck ohne den dazugehörigen Passagier erlauben würde. Der Ursprung der Richtlinie stammt aus dem Jahr 1974 und sieht die primäre Bedrohung der Luftfahrt im Hijacking, also dem Entführen von Flugzeugen. In den achtziger Jahren wurde jedoch auf die zunehmende Anzahl von Bombenanschlägen auf Flugzeuge (unter anderem Gulf Air Flight 771, Air India Flight 182 und Pan Am Flight 103) reagiert, bei denen ein Sprengsatz im Gepäck eines Passagiers versteckt wurde, der den Flug dann absichtlich nicht antrat. Um einen solchen Missbrauch zu unterbinden, darf nur Gepäck transportiert werden wenn auch der dazugehörige Passagier an Bord ist. Die Richtlinien wurden nach den Terroranschlägen in New York im September 2001 nochmals angepasst. [56] Es kann jedoch vorkommen, dass Gepäck auf einem Flug vergessen wird oder nicht ausreichend Platz verfügbar ist. Dann wird das Gepäck nachgeschickt (obwohl der Passagier, dem das Gepäckstück gehört, nicht an Bord ist). Fraglich bleibt der Nutzen dieser Regelung in Zeiten von Selbstmordattentätern. Gleichzeitig wird die Kontrolle des Gepäcks immer genauer und könnte so in Zukunft für eine bessere Sicherheit als die bisherigen Mechanismen sorgen.

In Abschnitt 6.3 wird die erweiterte Nutzung von RFID für den Gepäcklader vorgestellt beim Beladen mit Bulk Cargo. In Kombination mit einer Automatisierung des Frachtraums (Abschnitt 6.4), der auch für einzelne Gepäckstücke genutzt werden kann, ergeben sich neue Möglichkeiten der Optimierung und Stabilisierung für diesen Prozess.

5.5 Catering

Für den Prozess des Catering gibt es bisher wenige Optimierungsansätze, obwohl der Prozess standardmäßig auf dem kritischen Pfad liegt. Eine Ursache hierfür ist die unterschiedliche Menge an Catering, je nach Strecke. Bei einem Outstation-Turnaround wird die Dauer, wie beim Cleaning, an die verfügbare Zeit angepasst. Die Airline hat durch den Einsatz von zwei Fahrzeugen die Möglichkeit die Catering-Dauer zu verkürzen. Im Normalfall wird jedoch von einem Fahrzeug ausgegangen (Diagramm 4.5). [9] geht davon aus, dass auf Kurzstreckenflügen die maximale Kapazität der Galleys selten genutzt wird. Möglicherweise hat sich auch der Umfang des Caterings in den letzten Jahren verringert, da auf kurzen Flügen meist nur noch ein Getränk und ein Snack, anstatt einer Mahlzeit, gereicht wird. Bei Low-Cost-Airlines müssen diese extra Bezahl werden.

5.5.1 Belly Catering

Der verfügbare Raum in der Kabine ist begrenzt. Vorrang haben dabei die Passagiere. Neben dem Sitzplatz werden Toiletten (Lavatory) und Küchen (Galleys) benötigt. Für Langstreckenflugzeuge wie den Airbus A340-600, nutzt Lufthansa zusätzlich den unteren Frachtraum für diese Funktionen. So wurde eine zusätzliche Treppe in die mittlere Sitzreihe integriert, welche in den unteren Frachtraum führt.

Für Twin-Aisle Flugzeuge gibt es eine Studie, die sich mit dem Einsatz von Galleys im unteren Deck beschäftigt. Trotz einem geschätzten Zusatzgewicht von bis zu 890 kg können die *DOC* per seat mile um bis zu 5,42 % gesenkt werden, da der ehemalige Raum für die Küchen durch zusätzliche Sitzplätze genutzt werden kann. Besonders für Low-Cost-Airlines könnte dieses Konzept interessant sein, da sie grundsätzlich weniger Verpflegung an Bord ausgeben. Allerdings setzen diese Airlines hauptsächlich Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge ein, in denen ein solches System noch nicht zum Einsatz kommt. [57] Ein Entwurf eines solches Trolley-Lift Systems ist in Abbildung 5.12 zu sehen.



Figure 2.6 Trolley-lift system (Stuttgart 2008b)

Abbildung 5.12: Vorschlag für eine Trolley-Lift-System [58]

Bei der zukünftige Neuentwicklung eines Kurz und Mittelstreckenflugzeuges (ähnlich dem ALOHA Projekt) könnte über eine Verlegung der Catering-Trolleys in den unteren Frachtraum nachgedacht werden. Dadurch verkleinert sich jedoch der nutzbare Frachtraum. Für das hier

betrachtete Flugzeugmuster ergibt sich kein sinnvoller Einsatz eines solchen Systems. In ein Standardrumpfflugzeug kann ein Lift-System nicht in der Mitte des Rumpfes eingebaut werden, da sonst der Laufweg versperrt wird. Der Trolley-Lift müsste an einer Position verbaut werden, an der eine Verbindung zum Frachtraum besteht. Dazu können die bisherigen Positionen der Galleys nicht genutzt werden, da sie nicht über dem Frachtraum liegen (Vergleich Abbildung 6.1 und Abbildung 5.13).

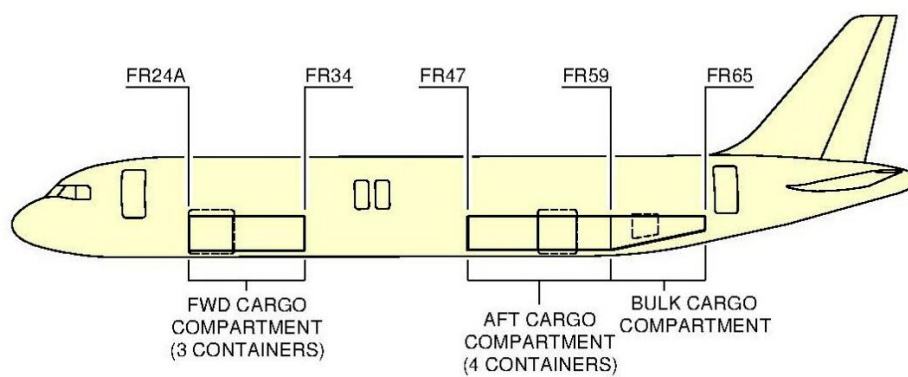


Abbildung 5.13: Cargo compartments des A320 [6]

Dadurch kommt nur eine Position in Frage, auf der sich bisher Passagiersitze befinden. Jedoch würde der Komfort der Passagiere leiden, da die Sitzpositionen von der Mitte der Kabine an das vordere oder hintere Ende verlegt werden müssten (möglicherweise ohne Fenster). Außerdem könnten benachbarte Passagiere von der Nutzung des Lift gestört werden. Falls die Kapazität der Galley, wie in Abschnitt 6.1 beschrieben, selten komplett genutzt wird, entfällt ein weitere Vorteil des Systems. Allein die Entkoppelung des Caterings von den Service-Prozessen und dem Boarding/Deboarding in der Kabine bleibt als möglicher Vorteil erhalten. Dieser steht jedoch in keiner Relation zu den Nachteilen, wodurch ein solches System für den Einsatz in einem Airbus A320 nicht geeignet ist.

5.6 Flugzeugentwürfe

Neben der Untersuchung von bereits bestehenden Flugzeugmustern gibt es auch einige Untersuchungen über neue Flugzeugentwürfe. Die hier vorgestellten Arbeiten haben eine möglichst geringe Turnaround-Zeit oder geringe Abfertigungskosten als Ziel.

5.6.1 ALOHA

Bei dem Projekt ALOHA sollen Flugzeugentwürfe mit besonders effizienter Bodenabfertigung untersucht werden. Die Abkürzung ALOHA steht für Aircraft design for LOW cost ground HANDling. Konkret geht es um mögliche Innovationen und Optimierungen für Nachfolgemuster des Airbus A320 oder der Boeing 737, besonders für Low Cost Airlines. Eine Studie befasste sich mit der Umrüstung eines bestehenden Flugzeugs, die andere mit einer Neuentwicklung. Das Projekt wurde unter anderem zwischen der HAW Hamburg, Airbus, Airport Research Center und dem Flughafen Hamburg durchgeführt. Interviews mit verschiedenen Experten wurden geführt und Videoaufzeichnungen ausgewertet. Eine Reduzierung der Bodenabfertigungszeit von 1,8 Minuten bei einem einstündigen Flug führe bereits zu einer erhöhten täglichen Auslastung des Flugzeugs³³. Bei einem zweistündigen Flug wären dafür 5,7 Minuten notwendig. Voraussetzung dafür ist, dass die tägliche Auslastung bereits vor der Verkürzung fast einen weiteren Flug ermöglicht (in dem genannten Beispiel war sie 10,8 bzw. 13,5 Stunden pro Tag). Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Turnaround Zeiten für Kurzstreckenflüge. Es wird herausgearbeitet, dass eine Reduzierung in der Bodenabfertigungszeit einen größeren Einfluss als eine Reduzierung der Bodenabfertigungskosten hat. Außerdem könne nur die Kombination aus verkürzter Boarding und Deboarding-Dauer sowie Be- und Entladen für eine signifikante Reduzierung sorgen. Das größte Potenzial für ein bestehendes Flugzeug wird in einem autonomen Pushback System, zwei integrierten Bordtreppen und dem Sliding Carpet System gesehen. Es soll die *DOC* pro Flug und Sitz um 3,45 % senken. Für die Neuentwicklung wird ein Hochdecker mit einem

³³ Annahmen: Tägliche Verfügbarkeit des Flugzeugs: 18 h, Bodenabfertigungszeit: 30 min, Rollzeit: 10 min

durchgehenden Frachtraum vorgeschlagen. Dies ermöglicht mehr Platz, um das Flugzeug am Boden abzufertigen sowie den Frachtraum gleichzeitig zu Be- und Entladen. In der Kabine sollen faltbare Passagiersitze (siehe Abschnitt 5.1.11) eingebaut und dadurch die Deboarding-Dauer um 45 % und die Boarding-Dauer um 17 %³⁴ verkürzt werden, bei Nutzung von einer Tür. Durch die Verlegung der Triebwerke an den hinteren Teil des Rumpfes und das dadurch benötigte T-Leitwerk sowie die schwereren Passagiersitze hat sich die Rumpfmasse gegenüber dem Referenzmuster A320 um knapp 30 % und die Flügelmasse um 20 % erhöht. Ein erhöhter Treibstoffverbrauch macht die Einsparungen bei den Betriebskosten zunichte. [27]

5.6.2 Enhancement of Aircraft Cabin Design Guidelines with Special Consideration of Aircraft Turnaround and Short Range Operations

In der Dissertation [9] wird die Konfiguration des Flugzeugrumpfs mit Single-Aisle und Double-Aisle für Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge untersucht. Ziel ist es eine genauere Grenze zu definieren, ab der ein Widebody sinnvoll eingesetzt werden kann. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Turnaround und den *DOC*. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass ein zweiter Gang im Flugzeug die Turnaround Zeit signifikant verkürzt und die Airline die gewonnene Zeit auch nutzen kann. Dies kann auch durch Simulationsergebnisse bestätigt werden. Das Handgepäck wird erneut in der Simulation genau betrachtet und in kleine, mittlere und Trolley-ähnliche-Größen unterteilt. Große Gepäckstücke verlängern die benötigte Zeit beim Boarding, besonders bei hoher Auslastung. Grund hierfür sind die sich zunehmend füllenden Overhead-Bins, welche teilweise noch Platz für kleine und mittlere Gepäckstücke bieten. Große Trolley-ähnliche Gepäckstücke benötigen jedoch mehr Stauraum und müssen deshalb erst zu einem freien Overhead-Bin transportiert werden. Diese Charakteristik ist auch deutlich in Diagramm 5.5 zu sehen.

³⁴ Das Boarding wird als komplexer betrachtet und führt deshalb zu geringeren Ersparnissen

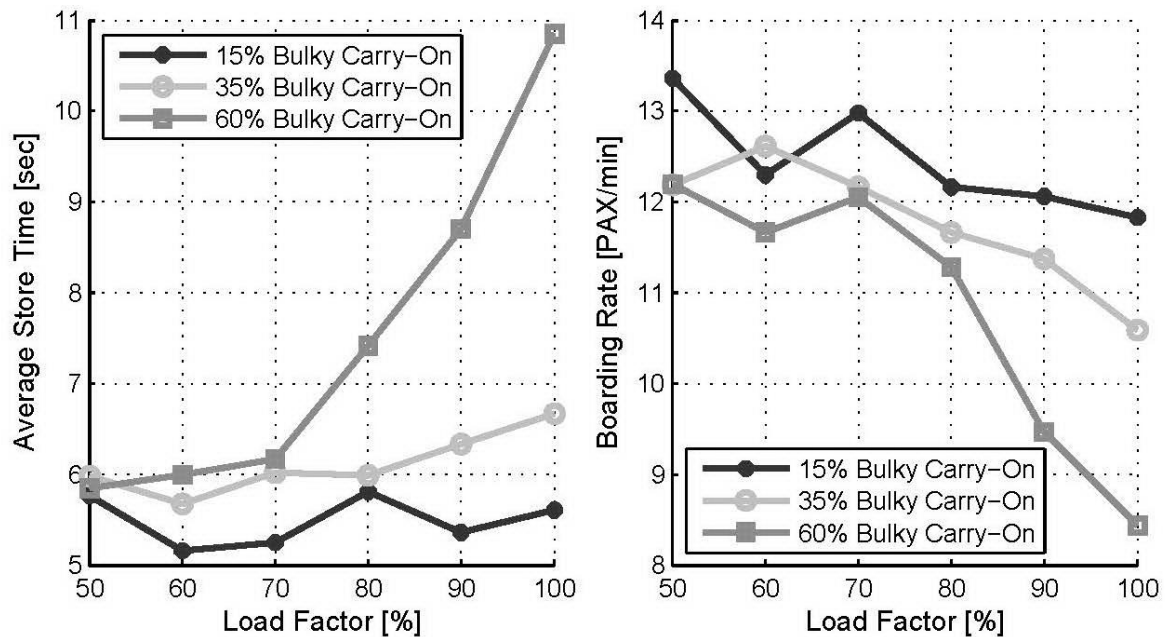


Diagramm 5.5: Einfluss von großen Gepäckstücken auf das Boarding [9]

Ähnlich [12] wird den Passagieren eine gewisse „Smartness“, also ein besonders schnelles Verstauen des Handgepäcks und Einnehmen des Sitzplatzes zugewiesen. Dabei kann bei geringer „Smartness“ die Boarding-Dauer um bis zu 50 % steigen. In die Simulation wurde auch das Vorbeilassen von Passagieren im Gang integriert sowie unterschiedlich breite Gänge untersucht (siehe Diagramm 5.6). Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass die Graphen Simulationen mit wenig Handgepäck darstellen. Würde ein Drittel der Passagiere Trolley-ähnliches Handgepäck mit sich führen, verschwindet der positive Effekt des breiten Ganges. So konnte bei der Auswertung von fast 170 Boardings keine Korrelation zwischen Boarding-Dauer und Gangbreite festgestellt werden. In der Simulation führte der breitere Gang zu keiner nennenswerten Verbesserung. Grund hierfür kann die unzureichende Modellierung sowie der geringe Einfluss des Vorbeilassens sein.

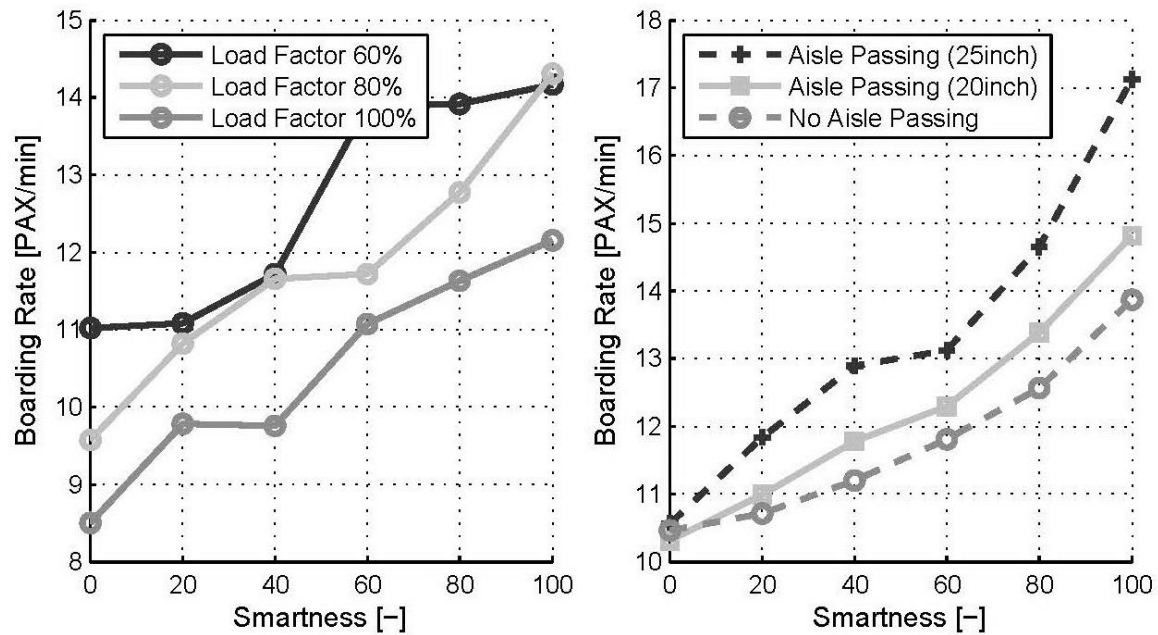


Diagramm 5.6: Einfluss von Smartness und Gangbreite auf das Boarding [9]

Als Engpass beim Deboarding von Single-Aisle Flugzeugen wurde der Gang identifiziert, bei Widebody Konfigurationen sind es die Türen. Es wurde ebenfalls die Nutzung von beiden Türen für das Ein- und Aussteigen der Passagiere simuliert. Die zeitliche Ersparnis ist so groß, dass die Reihenfolge Deboarding-Cleaning-Boarding möglicherweise den kritischen Pfad verlässt und durch das Be- und Entladen ersetzt wird. Dabei erzielt die Single-Aisle-Konfiguration die größten Einsparungen (siehe Diagramm 5.7).

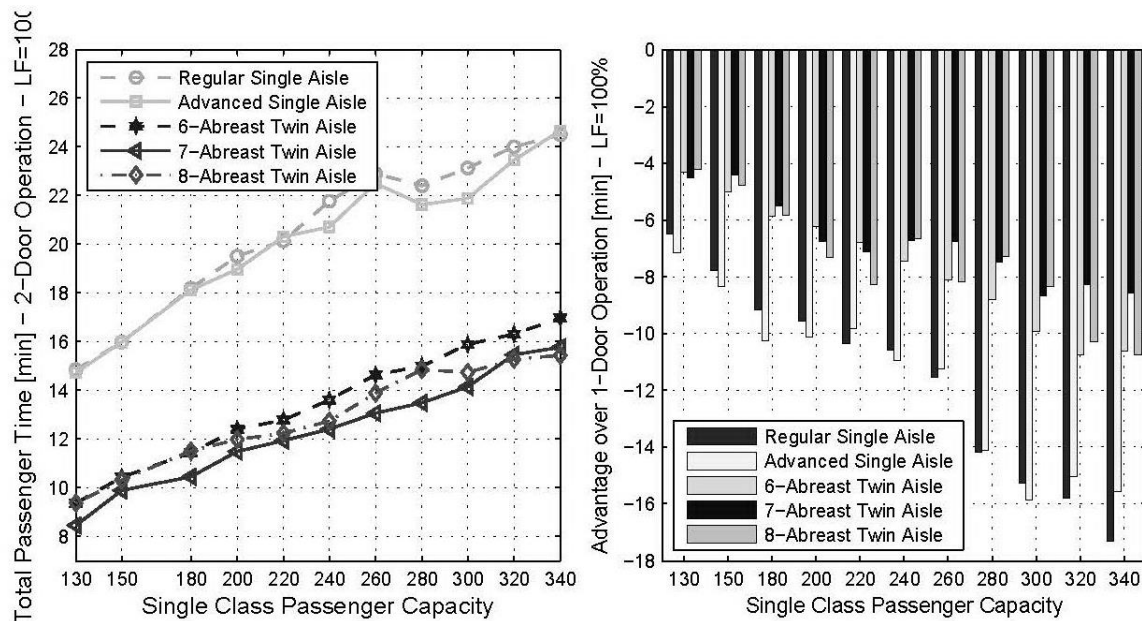


Diagramm 5.7: Deboarding und Boarding über 2 Türen³⁵ [9]

Abschließend wird ein Twin-Aisle Flugzeug als Ersatz für die A320 Familie als unwahrscheinlich erachtet, da die Turnaround Zeit das einzige Argument für die neue Konfiguration bleibt. Die Nutzung einer sogenannten „Quarter-Door“ (siehe Door 2 in 5.1.1), bei Flugzeugen mit einer Kapazität von mindestens 220 Passagieren, kann bereits Einsparungen von zwei bis sechs Minuten beim Deboarding und Boarding erzielen und macht damit den Vorteil des Twin-Aisle deutlich geringer bei gleichen *DOC* wie die Twin-Aisle-Konfiguration. Bis zu einer Strecke von 600 nm und 300 Passagieren bleibt der Single-Aisle mit „quarter-door“ im Vorteil, da er eine geringere Zunahme im Gesamtgewicht hat. [9]

³⁵ Total Passenger Time: Deboarding und Boarding, Auslastung: 100%, Vorteil gegenüber Nutzung einer Tür

6 Eigene Optimierungsansätze

Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen und bestehenden Optimierungen sollen in diesem Abschnitt eigene Entwürfe und Ideen für einen verkürzten Turnaround vorgestellt werden.

6.1 Ablagefach für großes Handgepäck

Der Ansatz für eine kürzere Turnaround-Zeit ist ein zusätzliche Ablagemöglichkeit für Handgepäck zu schaffen, welche nicht den Mittelgang des Flugzeugs beim Einladen blockiert. Dafür könnten die bereits vorhandenen Galleys umgebaut werden. So könnte etwa die vordere Galley, wie in Abbildung 6.1 zu sehen, in ein zusätzliches Ablagefach für große Handgepäckstücke umgewandelt werden.

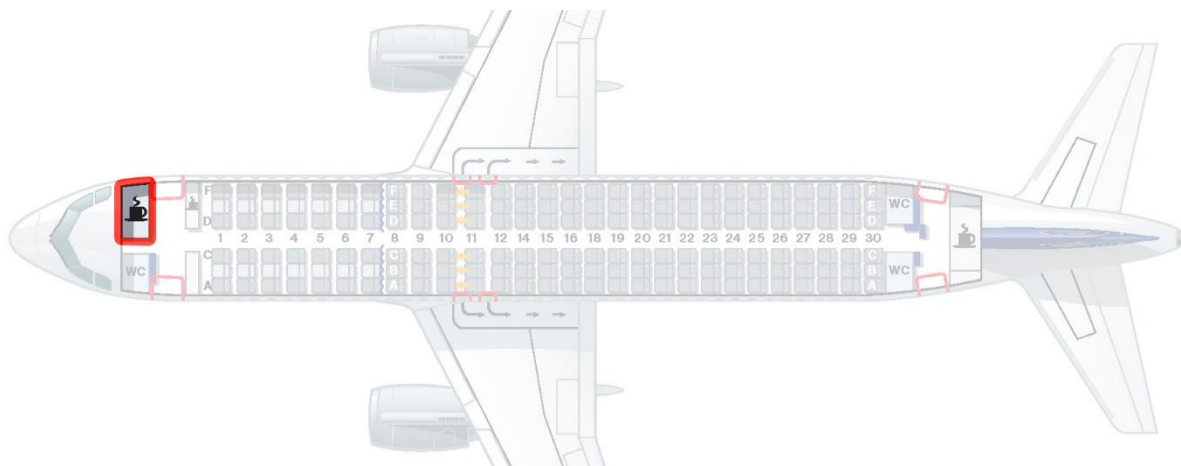


Abbildung 6.1: Lufthansa A320 Sitzplan mit Galley für Umbau [59]

Die Vorteile eines solchen Systems wären:

- **Mehr Stauraum für Passagiere in der Kabine**
- **Kein Blockieren des Ganges beim Be- und Entladen**
- **Fach befindet sich direkt am vorderen Eingang (Passagier geht anschließend ohne oder mit reduziertem Handgepäck direkt zum Sitzplatz)**
- **Schlange im Flugzeug-Gang verkürzt sich (kein zusätzlicher Raum für Trolleys und Taschen vor oder hinter dem Passagier)**

- **Steward/essen könnten Passagieren beim Verstauen helfen, ohne das Boarding zu behindern**
- **Aufgrund des Raums vor den Türen kann einfacher aneinander vorbeigelaufen werden**
- **Besonders Kunden mit hohem Zeitdruck und Vielflieger könnten dieses System effizient nutzen, da bei diese Passagiergruppe mit einer höheren Akzeptanz gerechnet wird als bei Touristen (Vergleich Abschnitt 5.1.10)**
- **Geringere Ladehöhe führt zu mehr Komfort für die Passagiere**

Diese Vorteile sollen hauptsächlich zu einem verkürzten Boarding führen. Dafür muss jedoch das Handgepäck in kleine Rucksäcke/Taschen oder große Koffer/Trolleys unterteilt werden, welche nicht während des Fluges geöffnet werden müssen. So könnte schon beim Einchecken Gepäck für das vordere Ablagefach mit einem extra Band markiert werden. Eine andere Möglichkeit wäre Passagiere direkt beim Betreten des Flugzeugs darauf hinzuweisen, ihr großes Gepäckstück in die neue Ablage zu stellen oder ihnen diese Aufgabe sogar abzunehmen. Dies könnte zu einer höheren Akzeptanz des neuen Stauraums führen, da er sich unkompliziert nutzen ließe. Ein Hinweis mittels App (siehe Abschnitt 6.2) wäre ebenfalls möglich. Rucksäcke oder kleine Beutel, mit Inhalt der während des Fluges benötigt wird, sollten weiterhin in den Overhead-Bins in der Nähe des Passagiers verstaut werden, da ansonsten unnötig lange Wege zurückgelegt werden müssen. Falls bereits ein Teil der Overhead-Bins gefüllt ist, bleibt unter Umständen noch ausreichend Platz für kleine oder mittlere Taschen oder Jacken. Jedoch würde dieser Platz nicht für große Gepäckstücke wie einen Trolley ausreichen (Vergleich Abschnitt 5.6.2). Damit müsste der Passagier das Gepäckstück möglicherweise noch weiter von seinem Sitzplatz entfernt verstauen und würde den Gang für eine längere Zeit blockieren und einen längeren Weg zurücklegen. Dieser Effekt ist bei einer hohen Auslastung besonders stark und lässt sich in Diagramm 5.5 beobachten. Ein Entwurf des Ablagefachs ist in Abbildung 6.2 zu sehen.

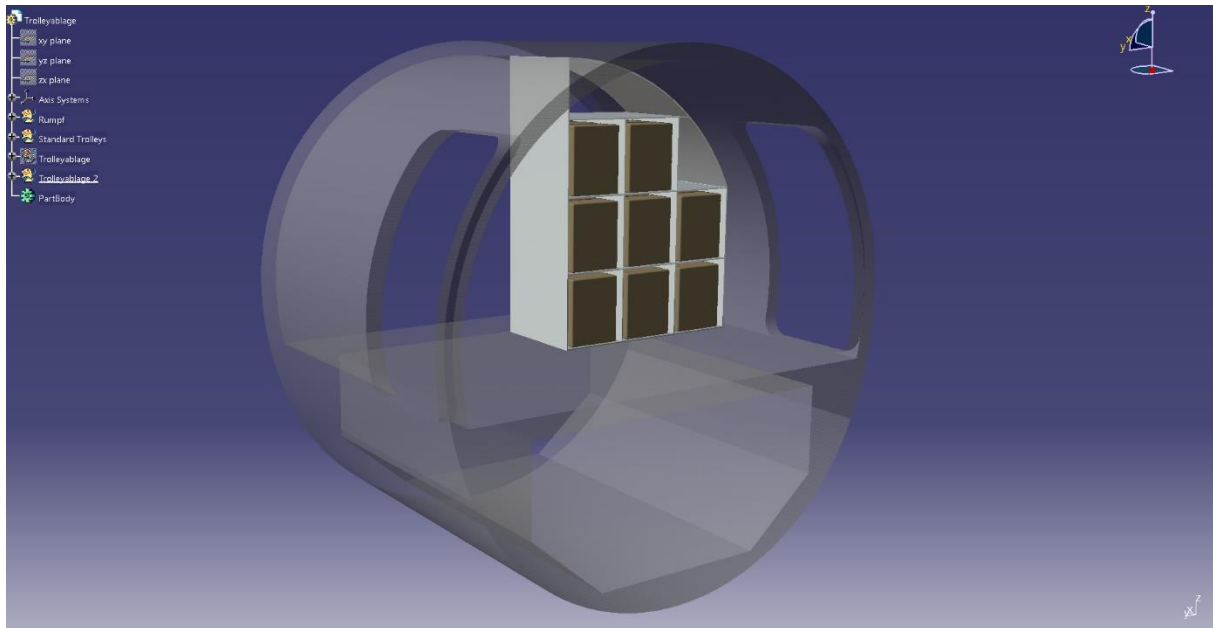


Abbildung 6.2: Entwurf eines zusätzlichen Ablagefachs

Das zusätzliche Ablagefach kommt auch den Wünschen von Airline Vertretern und Ground Handlern nach, mehr Stauraum in der Kabine bereit zu stellen. Dies wurde durch Interviews für das *ALOHA* Projekt (siehe Abschnitt 5.6.1) bereits festgestellt. Auch *ASSET* sieht die Flugzeughersteller gefordert den Turnaroundprozess mit neuen technischen Lösungen zu verbessern, insbesondere Handgepäckablagen, Frachttüren und Boardingbrücken. [60] Das neue System würde Platz für mindestens 24 Handgepäckstücke mit den ehemaligen International Air Transport Association (*IATA*) Richtlinienmaßen von 56 x 45 x 25 cm bieten. In den unteren Ebenen ließen sich jeweils neun Handgepäckstücke verstauen (siehe Abbildung 6.3), in den oberen mindestens sechs. Da die exakten Maße der Kabine nicht verfügbar waren, sind einige Maßangaben geschätzt. Nicht berücksichtigt wurde unter anderem die Verschlinkung des Rumpfs hin zum Cockpit. Eine Skizze des Fachs findet sich in der Anlage (Abbildung 10.11).

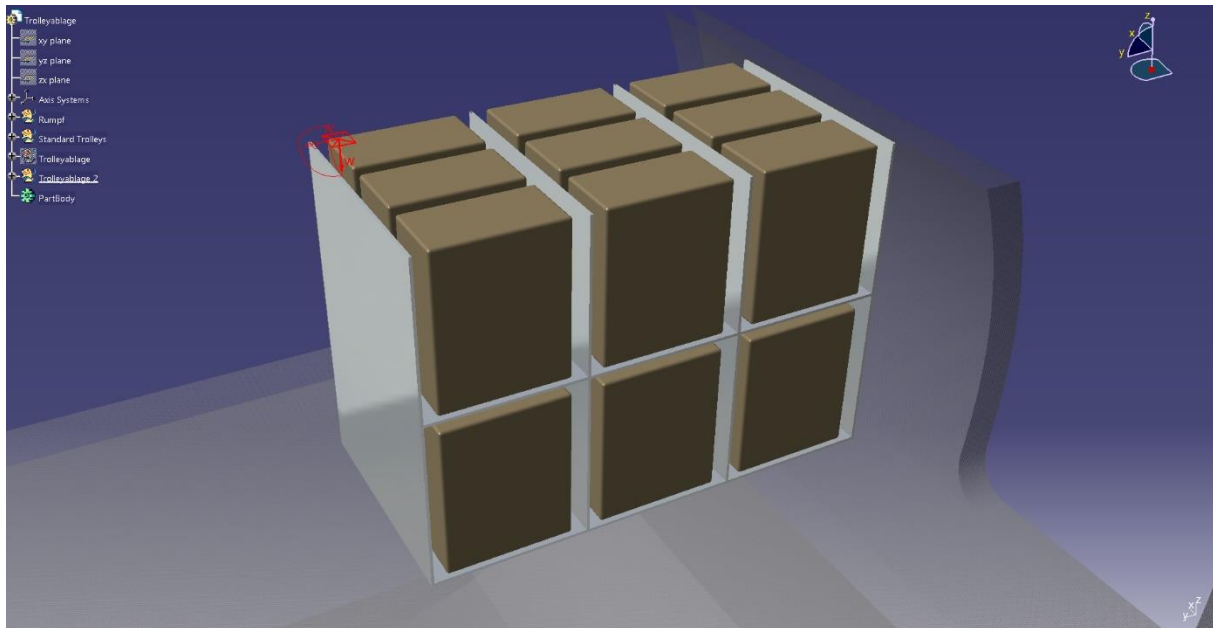


Abbildung 6.3: Untere Ablagefächer mit jeweils neun Handgepäckstücken pro Etage

Beim Verstauen von Handgepäck in der Kabine gelten ähnliche Anforderungen wie für Gepäck im Frachtraum. In *AC 121-29B* (Advisory Circulars) der *FAA* (Federal Aviation Administration) werden diese präzisiert:

- **Es muss sichergestellt werden, dass Handgepäck keine Gefahr für das Weight and Balance darstellt**
- **Handgepäck muss sicher verstaut werden:**
 - **Darf die Bewegung von Passagieren auf dem Gang nicht behindern**
 - **Gegenstände sind sicher im Gepäckfach zu verstauen**
 - **Das Gepäckfach lässt sich leicht verschließen**
 - **Gepäck darf nicht aus geöffneten Gepäckfächern fallen**
- **Gepäck muss in dafür vorgesehenen Fächern verstaut sein, bevor die Flugbegleiter die Kabinentür für den Flug verschließen**
- **Handgepäck darf nicht den Zugang oder die Benutzung von Notfallausrüstung behindern [61]**

Abgeschlossen werden könnte das Fach über Klappen (ähnlich der Galleys) oder über eine Art Rollo, welches in Schienen rechts und links geführt wird. Außerdem wäre der Abschluss mittels eines Gepäcknetzes, ähnlich der ATR 42/72, möglich. Bei der Regionalflugzeugserie wird

bereits Gepäck vor und hinter den Sitzreihen verstaut, da es keinen Frachtraum unter dem Kabinenboden gibt (Abbildung 6.4). Es kann nur per Hand eingeladen werden. Abgeschlossen werden die Ablagebereiche nur durch Gepäcknetze, welche ein Verrutschen während des Fluges verhindern. [62]

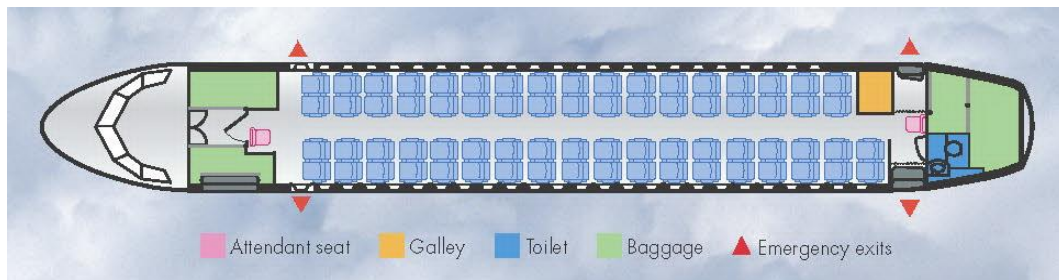


Abbildung 6.4: Kabine der ATR 72-600 [62]

Das zusätzliche Gepäckfach erfüllt diese Anforderungen, falls ein geeigneter Abschluss gewählt wird und sich die Schwerpunktslage des Flugzeugs in einem zugelassenen Bereich befindet.

Bei einer Bestuhlung mit 168 Sitzen (Abbildung 6.1) und den Daten des Referenzsystems von ASSET³⁶ (Abschnitt 5.2) ergeben sich für Geschäftsreisende eine Zeit von 10,7 Minuten zum verstauen von 32 Trolleys und für Touristen eine ungefähre Zeit von 9,6 Minute für 23 Trolleys (Zeiten auf die ersten Nachkommastelle gerundet). Durch eine Verkürzung der Verstaupzeit um fünf Sekunden für beide Passagiergruppen durch das zusätzliche Ablagefach, ließen sich bereits 4,6 Minuten³⁷ einsparen. Geht man nur von einer Verkürzung für Geschäftsreisende aus, so beträgt der Unterschied noch 2,7 Minuten. Da jedoch nicht alle Trolleys in das Ablagefach passen, muss mit einer geringeren Verbesserung gerechnet werden. Außerdem scheint die angenommen Auslastung von 100 % nicht realistisch. Deshalb wird eine verkürzte Zeit zum Verstaupen von Handgepäck von 1,5 Minuten angenommen.

³⁶ Anteil Geschäftsreisende und Touristen, Anteil an Trolleys, Prozesszeit zum Verstaupen des Trolleys

³⁷ Bei verwendung der Passagieraufteilung von [43] ergibt sich eine Verkürzung um 4,3 Minuten

Die Reduzierung des Anteils an Passagieren mit Handgepäck (gemäß Diagramm 5.2) um 10 % führt zu einer Einsparung von ca. einer Minute (Bei 20 % von ca. zwei Minuten). [8] geht von einer um vier Minuten verkürzten Boarding-Zeit aus, falls der Anteil von Passagieren mit zwei oder mehr Handgepäckstücken von 15 % auf 5 % gesenkt wird. Das senken von sperrigem Handgepäck von 60 % auf 35 % führt in Diagramm 5.5 zu einer verkürzten Zeit zum Verstauen von 4,2 Sekunden bei einer Auslastung von 100 %. Diese starke Reduktion der benötigten Zeit senkt sich bereits bei 80 % Auslastung auf 1,4 Sekunden und bietet ab einer Auslastung von 70 % keine großen Einsparungen mehr. Bei 168 Passagieren ergibt sich bei 100% Auslastung ein Unterschied von 11,8 Minuten, bei 80% Auslastung sind es nur noch vier Minuten. Für das verkürzte Boardings durch das Senken von Handgepäckstücken (besonders große Stücke) wird eine Zeitersparnis von zwei Minuten angenommen.

Besonders die Boarding-Zeit von Geschäftsreisenden ließe sich mit dem System verkürzen, da sie über eine höhere Laufgeschwindigkeit und eine größere „Smartness“ verfügen. Dadurch wäre es bei dieser Passagiergruppe leichter ein solches System zu etablieren, als bei Personen die selten fliegen und nicht vertraut sind mit den Abläufen in der Kabine. So könnten selbst bei einem traditionellen Boarding-Verfahren die Verzögerungen im Gang reduziert werden. Wie groß dieses Potenzial ist, lässt sich anhand der vorhandenen Studien nicht genauer beziffern. Gleiches gilt für eine Verkürzung der Schlange vor und im Flugzeug.

Geschätzt wird deshalb eine reduzierte Boarding-Dauer von 3,5 Minuten durch das zusätzliche Gepäckfach beim traditionellen Back-To-Front-Verfahren. Außerdem könnte die Stabilität des Prozesses erhöht werden, da die Suche nach einem freien Gepäckfach entfällt. Auch beim Deboarding könnte das System einen Vorteil bieten, da die Passagiere mit Gepäck im vorderen Ablagefach sich gezielter von ihrem Sitzplatz in Richtung Ausgang bewegen. Dabei benötigen sie weniger Platz im Gang und ermöglichen so Passagiere in Sitzreihen hinter ihnen das Aufstehen und Bewegen im Gang. Gepäckstücke aus dem zusätzlichen Ablagefach können aus dem Fach herausgeholt werden ohne die übrigen Passagiere zu behindern. Das ermöglicht ein schnelleres Verlassen der Kabine für alle Passagiere.

Neben den bisher beschriebenen Vorteilen des Systems ergeben sich mögliche Nachteile des zusätzlichen Ablagefachs:

- **Weniger Raum für Catering**
- **Umständlicher Zugriff während des Flugs**
- **Größerer Ausnutzung des zulässigen Handgepäcks**
- **Gewöhnung der Passagiere an neues System in dieser Flugzeugklasse**
- **Angst vor Verlust durch keinen direkten Sichtkontakt zum Gepäck**

Ein Ansatz zur Kompensierung des verkleinerten Catering wäre die Ausgabe von Verpflegung bereits vor dem Einstieg. So könnten Getränke und Snacks von den Gästen in Rucksäcken oder Handtaschen verstaut werden und müssten nicht extra in der Galley untergebracht werden. Ein solches Konzept wäre jedoch nicht umsetzbar für eine Airline mit hohen Komfortansprüchen.

“The galley capacity is rarely used to full extent and many operators perform catering only every second or third turnaround.” (Fuchte 2014: 68)

Wenn diese Aussage auf eine Airline zutrifft, könnte das Ablagefach für großes Handgepäck sogar ohne diesen vermeintlichen Nachteil genutzt werden. In diesem Fall würde sich der Prozess des Caterings verkürzen, müsste aber unter Umständen öfter durchgeführt werden, sofern die Verpflegung nur für einen Flug ausreicht. Dies kann die Full Service Turnaround-Zeit verkürzen, falls am Zielflughafen die Möglichkeit besteht frische Waren an Bord zu nehmen. Da das Catering hier auf dem kritischen Pfad liegt (siehe Diagramm 4.5), könnte auch der Turnaround kürzer werden. Jedoch verlängert er sich möglicherweise bei einem Outstation Turnaround (siehe Diagramm 4.4).

Die Gewöhnung der Passagiere an das neue System könnte durch eine Smartphone App, wie in Abschnitt 6.2, einfacher durchgeführt werden. Allerdings ist der Unterschied zum bisherigen Boarding geringer als beispielsweise mit einem anderen Boarding-Verfahren.

6.2 Smartphone-App zur Unterstützung des Boardings

Das Smartphone ist für die meisten Reisenden heute unverzichtbar geworden. Aktuelle Informationen zum Flug können eingesehen werden und viele große Flughäfen haben bereits eigene Apps. Auch die meisten Airlines unterstützen digitale Tickets, welche auf dem Smartphone gespeichert werden können. Koffer (siehe Abbildung 6.7) lassen sich per App für den aktuellen Flug beschriften. Und auch die Abläufe am Boden können über eine App (SITA AirsideApp) papierlos dokumentiert und mit anderen Prozessen koordiniert werden.

Boeing hat im August 2016 die sogenannte „vCabin“ vorgestellt. Per App sollen das Licht gesteuert, die Verfügbarkeit von Toiletten geprüft, Essen oder Getränke bestellt werden oder Filme heruntergeladen werden. Dem Passagier sollen so mehr Möglichkeiten der Personalisierung gegeben werden. Dazu wurden nicht genauer definierte Chips in der gesamten Kabine eingebaut, welche eine drahtlose Netzwerkverbindung mit dem Smartphone herstellen können (vermutlich WLAN oder Bluetooth). So kann eine Nutzung ohne Wi-Fi³⁸ realisiert werden. Auch die Kabinencrew könnte präzise Informationen über Vorlieben der Fluggäste oder Defekte an einzelnen Komponenten erhalten. Boeing sieht in der Zukunft das Smartphone als festen Reisebegleiter der Passagiere. [63]

Einen ähnlichen Ansatz hat auch Lufthansa Systems. Mit dem System „BoardConnect“ wird dem Passagier ermöglicht sein eigenes Gerät im Flugzeug mitzubringen, um digitale Inhalte wie Filme, Musik und Magazine abrufen zu können. Aber auch Serviceleistungen sind mit dem System möglich. So können Kunden in der App ihre Mahlzeit an Bord wählen und die Crew kann gezielt Benachrichtigungen an einzelne Passagiere oder Gruppen schicken. Das System soll außerdem schnell einzurüsten sein, niedrigere Betriebs- und Anschaffungskosten aufweisen sowie zu Gewichtseinsparungen³⁹ gegenüber bisherigen Inflight-Entertainment-Systemen führen. [64]

³⁸ Vermutlich soll Wi-Fi hier für eine aktive Verbindung zum Mobilfunknetz stehen und nicht für die drahtlose Netzwerkverbindung in der Kabine

³⁹ Bei einer Boeing 737 ungefähr 360 kg

Doch auch für die Optimierung des Turnarounds ließe sich eine App nutzen. Folgende Möglichkeiten bietet der Einsatz einer App:

- **Gezielte Information der Passagiere**
 - **Hinweise zum Boarding**
 - **Aufruf der Passagiere**
 - **Nutzen von nicht-traditionellen Boarding-Verfahren**
- **Reservierung von Handgepäckfach**

Bereits vor dem Schalter könnten Passagiere direkte Anweisungen zum Boarding erhalten. In [12] wurde bereits gezeigt, dass das vorherige Ausziehen der Jacken für eine kürzere Boarding-Dauer sorgt (0,4 Minuten pro 10 % weniger Passagiere mit angezogener Jacke). Gleichzeitig könnten Abläufe des Boardings als Animationen angeboten werden um bei Passagieren, welche nicht häufig fliegen, für eine bessere Verständlichkeit zu sorgen. Eine Alternative wären Displays in der Nähe des Schalters, wie sie in Abschnitt 5.1.10 bereits vorgestellt wurden. Dadurch soll, wie bereits im vorherigen Abschnitt angenommen, die maximale Prozesszeit für das Verstauen des Handgepäck um fünf Sekunden reduziert werden. Das Ergebnis ist eine 2,3 Minuten kürzere Boarding-Dauer. Mit einem ähnlichen Wert kann für den Einsatz der App gerechnet werden. Dieser könnte sich durch die bessere Erreichbarkeit des einzelnen Passagiers noch erhöhen. Der Effekt kommt einer Erhöhung der Smartness (Abschnitt 5.6.2) gleich. Kann die Smartness der Passagiere durch die App von 40 % auf 60 % erhöht werden (vergleiche Diagramm 5.6 und 100 % Auslastung) so steigt die Boarding-Rate um 1,3 Passagiere pro Minute.

Aufrufe zum Boarding oder sogar der persönliche Aufruf des Passagiers könnte besser durchgeführt werden (siehe Abbildung 6.5). Die Passagiere hätten eine höhere Erreichbarkeit als bei den bisherigen Lautsprecherdurchsagen welche, je nach Position, schlecht verstanden werden können. Falls sich der Passagier noch in einem Geschäft oder einem anderen Ort ohne Lautsprecher befindet, könnte die App ihn trotzdem erreichen. Dadurch können die Passagiere besser für das jeweilige Boarding-Verfahren angeordnet werden und eine Ansammlung von Passagieren, aus der Unwissenheit der aktuell aufgerufenen Boarding-Gruppe, vor dem Schalter verhindert werden. Denkbar wäre sogar die Bestimmung der Position des Passagiers im Terminal oder am Schalter mittels In-Door Navigation. Dazu können WLAN, Bluetooth

oder eine andere Funktechnik genutzt werden. Die Genauigkeit dieser Technologien (10 m) müsste allerdings durch zusätzliche Geräte erhöht werden, beispielsweise durch Apples „iBeacon“ System. Mit dieser Technik könnten Passagiere, welche am Schalter auf Einlass warten aber eigentlich noch nicht an der Reihe sind, gezielt von der App auf ihr Fehlverhalten hingewiesen werden. Persönliche Erfahrungen zeigen jedoch, dass häufig kein großes Interesse daran besteht.

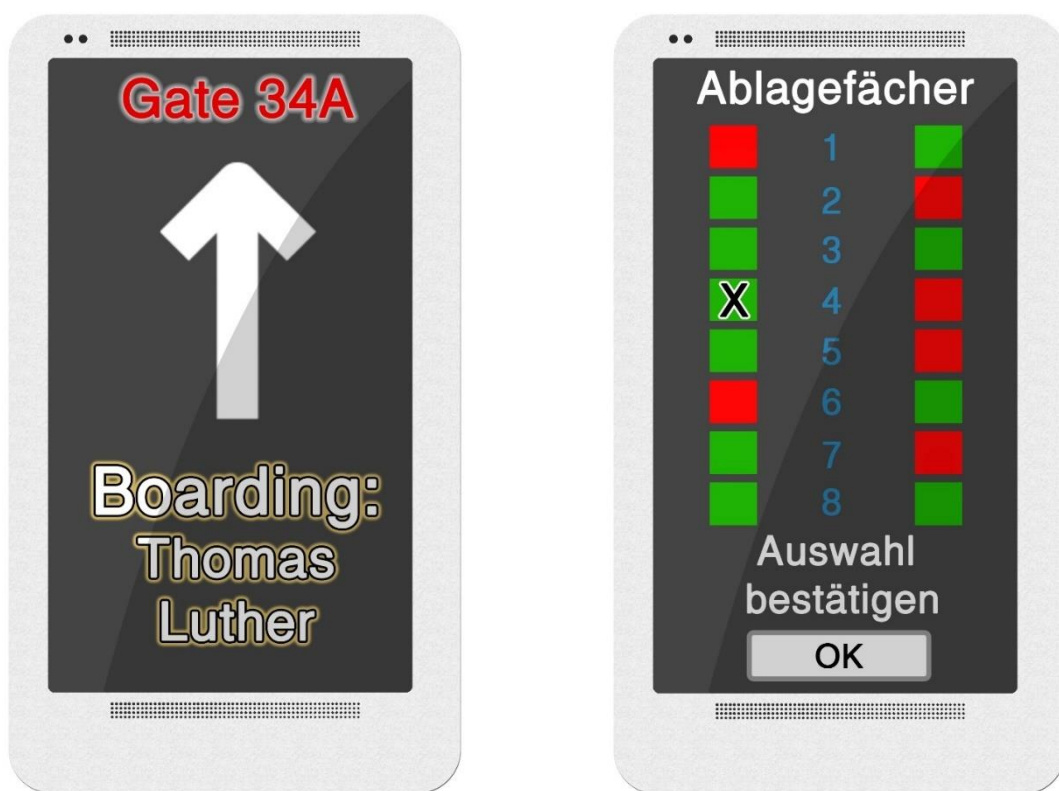


Abbildung 6.5: Boarding und Reservierung eines Ablagefachs mittels App

In Abschnitt 5.1 wurden deutliche Einsparungen beim Boarding mit einem nicht-traditionellen Boarding-Verfahren gezeigt. Die Autoren hatten jedoch Bedenken an der Umsetzbarkeit im täglichen Betrieb. Durch den Einsatz einer App wäre es möglich auch kompliziertere Boarding-Verfahren, wie etwa die Steffen Methode (Abbildung 10.9), zu nutzen. Wahrscheinlicher erscheint jedoch die Einführung von einem nicht ganz so komplizierten Verfahren wie Reverse Pyramid (Abbildung 10.8) oder die modifizierte Steffen Methode (Abbildung 10.10). Dabei könnte auch ein zeitlicher Versatz für die Benachrichtigung implementiert werden, um eine optimale Boarding-Reihenfolge sicherzustellen (evtl. unter Nutzung der Position des Passagiers

im Raum). [31] konnte mit dem Reverse-Pyramid-Verfahren die Boarding-Dauer um 26 % (mehr als zwei Minuten bei hoher Auslastung) und die Abflugverspätungen um 21 % senken. Es wäre außerdem möglich ein dynamisches Boarding durchzuführen. Die Verteilung der Sitzplätze könnte erst kurz vor Beginn des Boardings bestimmt werden und dadurch an die, bis zu diesem Zeitpunkt eingetroffenen, Passagiere angepasst werden.

Insgesamt könnte durch die App die Robustheit gegen Störungen erhöht werden und die Passagiere würden durch das Hilfsmittel effizienter geleitet. Zwei wichtige Ansatzpunkte in 5.1.10 um neue Prozessabläufe in ihrem Einsatz zu festigen.

Durch die vorherige Reservierung eines Handgepäckfachs kann die Suche nach einem freien Ablagefach entfallen. Passagiere mit großen Gepäckstücken können das neue Fach aus Abschnitt 6.1 nutzen und direkt darauf hingewiesen werden. Die Reservierung könnte entweder über ein Online-Portal oder über die App (Abbildung 6.5) erfolgen und direkt die Größe und Art des Handgepäckes abfragen. Der Vorteil der App wäre eine Reservierung noch kurz vor Beginn des Boardings. Mit der stärkeren Vernetzung der Kabine ist auch eine Anzeige für bereits reservierte Fächer denkbar. Ein farbige LED (rot/gelb/grün) wäre eine einfache Möglichkeit (Abbildung 6.6). Denkbar ist auch ein Display mit einem Namen oder einer Reservierungsnummer, ähnlich dem System der Bahn.



Abbildung 6.6: Overhead-Bin mit Reservierung (Bild ursprünglich aus [65])

Angenommen wird eine Verkürzte Boarding-Dauer von einer Minute durch die verbesserte Erreichbarkeit der Passagiere. Wird zusätzlich ein optimiertes Boarding-Verfahren eingesetzt sind weitere Einsparungen von über zwei Minuten denkbar. Soll dagegen weiterhin das Back-To-Front Boarding angewendet werden, bietet die Reservierung von Ablagefächern eine Möglichkeit der Reduzierung von Verzögerungen. Somit erscheint eine Verkürzung von insgesamt drei Minuten durchaus möglich.

Als Einschränkung bleibt jedoch zu sagen, dass diese Verfahren nur bei einer ausreichenden Anzahl an Smartphone-Nutzern und deren Bereitschaft zur Nutzung einer solchen App zum Erfolg führen wird. Menschen die sich gegen neue Technologien wehren oder diese nicht benutzen können bzw. wollen (Senioren, Behinderte, ...), wären weiterhin auf traditionelle Verfahren angewiesen oder bräuchten eine umfangreichere Betreuung durch Personal der Airline. Auch Datenschutzfragen müssten geklärt werden, da sich nutzerbezogene Daten speichern und Bewegungsprofile erstellen lassen könnten.

6.3 Identifikation von Gepäck

Passive RFID-Chips werden immer häufiger im Luftverkehr eingesetzt. Sie benötigen keine Batterie und sind wartungsarm, günstig und widerstandsfähig. Die *IATA* hat im Jahr 2013 eine eigene Broschüre über die Möglichkeiten von *RFID* in der Luftfahrt herausgegeben. Dabei wird grundsätzlich zwischen der Nutzung bei Gegenständen die den Flugbetrieb sicherstellen (Life Limited Parts, Schwimmwesten, ...) und dem Einsatz für Airlines (Tickets, Cargo, Ground Service, ...) unterschieden. Bauteile können automatisch identifiziert und zusätzliche Daten auf dem Chip gespeichert werden, um diese Informationen direkt vor Ort abrufbar zu machen. Dafür muss der Chip nicht direkt vor dem Scanner platziert werden, sondern kann auch verdeckt in einem gewissen Abstand eingelesen werden. Reflexionen im Inneren des Flugzeugs erhöhen möglicherweise die Reichweite der Chips. Durch den großen Speicherplatz kann der gesamte Lebenslauf eines Bauteils auf dem Chip gespeichert werden. [66]

Bereits im Jahr 2005 wurden die Chips für den Einsatz als Gepäckanhänger freigegeben. Zum Einsatz kommt der *IATA* RP1740C und ISO 18000-6C Standard. Delta Airlines hat 2016 den *RFID* Bag Tags eingeführt. Der Chip wird dabei in das normale Papier-Etikett integriert. Dadurch entfällt das manuelle einscannen des Barcodes auf dem Etikett. Es besteht außerdem die Möglichkeit Gepäckstücke schneller aufzuspüren, falls ein Passagier seinen Anschlussflug verpasst. So wurden an einige Gepäckförderbänder Signalanlagen eingebaut, die das Einladen von falschem Gepäck verhindert. Delta Airlines erzielte laut eigener Aussage eine 99,9 % genaue Verfolgung des Gepäcks. [67]

Auf die RFID-Chips kann auch das Gewicht des Gepäckstücks gespeichert werden. Diese Information erleichtert die Arbeit der Gepäcklader, da diese unerwartet schwere oder leichte Koffer bereits vor dem Anheben identifizieren könnten. So kann das Stapeln des Gepäcks optimiert werden und dadurch die Muskelbelastungen verringert werden. [25]

Lufthansa hat zusammen mit Rimowa bereits einen Koffer mit eingebautem elektronischen Etikett vorgestellt. In den Rimowa Electronic Tag kann per App der aktuelle Flug übertragen werden. Die Daten sind anschließend auf einem Display am Koffer einsehbar (siehe Abbildung 6.7). Damit kann der Koffer direkt eingchecked werden. Durch das fest eingebaute Display kann

man sicher sein, dass der Koffer auch korrekt zugeordnet werden kann. [68] Auf einen RFID-Chip wurde allerdings verzichtet.



Abbildung 6.7: Rimowa Electronic Tag [68]

Die bisher genannten Möglichkeiten von RFID-Chips können ebenfalls für die erweiterte Realität (Augmented Reality) genutzt werden. Informationen über die Gepäckstücke könnten den Gepäckladern direkt auf einem mobilen Gerät oder einer digitalen Brille (ähnlich Google Glasses) eingeblendet werden. Ein Konzept des Systems wird in Abbildung 6.8 dargestellt. Bei der Nutzung einer Datenbrille (auch als Wearables bezeichnet) käme es zu keiner Behinderung des Arbeitsablaufs, da die Hände des Arbeiters frei bleiben. Die zusätzlichen Informationen über das Gewicht der Gepäckstücke bekommt der Gepäcklader direkt eingeblendet und kann dadurch eine optimierte Sortierung der Koffer vornehmen oder gesuchte Gepäckstücke gezielter lokalisieren.



Abbildung 6.8: Vorstellung von Augmented Reality im Frachtraum (Bild ursprünglich aus [47])

Werden auf den RFID-Chips auch Daten über die Maße des Gepäckstücks gespeichert, können diese zu einer besseren Sortierung genutzt werden. Die Gepäckstücke können bereits im Voraus optimal für den Frachtraum angeordnet werden und in entsprechender Reihenfolge auf die Dollies geladen werden. Mit Hilfe von erweiterter Realität erhält der Gepäcklader eine optische Anweisung zum Beladen. So kann eine gleichmäßigere Verteilung über die Sektionen des Frachtraums ermöglicht werden. Durch das schnellere Anordnen kann eine kürzere Ladezeit ermöglicht werden, da ein Umsortieren der Koffer nicht mehr nötig ist.

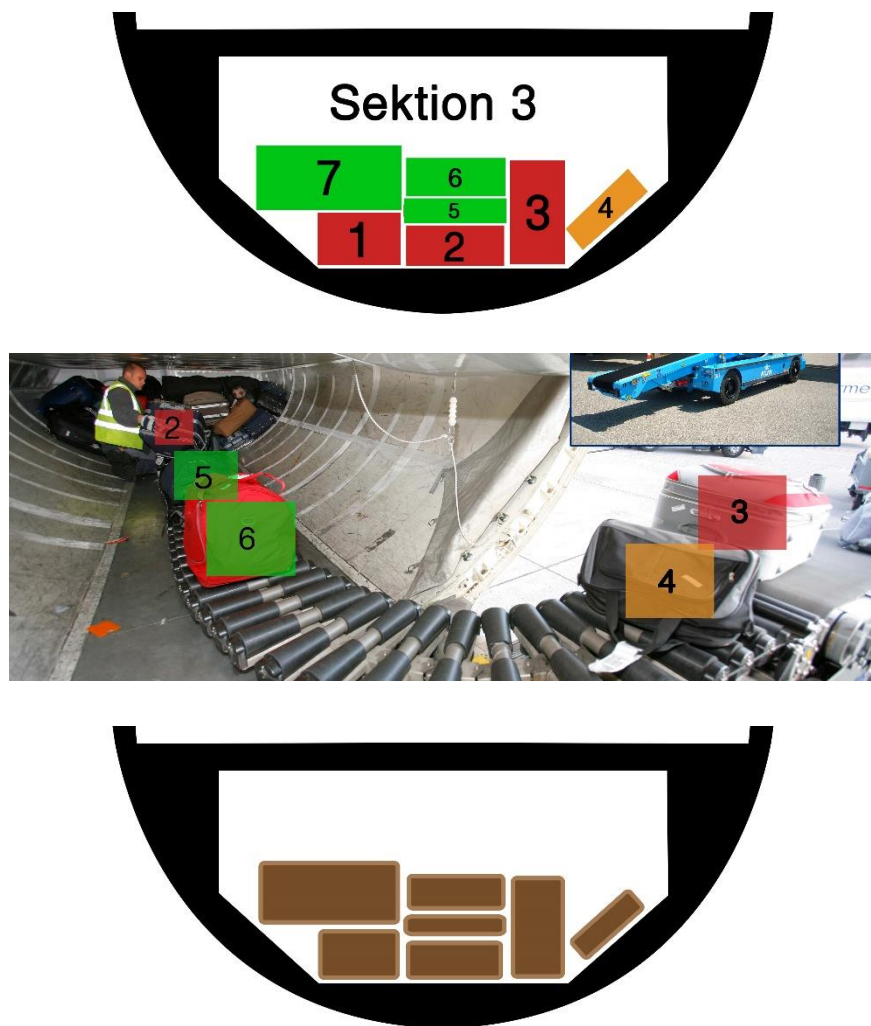


Abbildung 6.9: Optimale Anordnung des Gepäcks unter Berücksichtigung des Gewichts (Bild in der Mitte ursprünglich aus [47])

Besonders das gezielte aufspüren und entfernen von Gepäck eines „No-Show“ war einer der häufigsten Gründe für einen verspäteten Abflug (Abschnitt 5.4). Durch die oben beschriebenen Maßnahmen wird eine Verkürzung von einer Minute angenommen, weil die Technik sowohl für Container als auch für Bulk-Beladung eingesetzt werden kann. Welche Auswirkungen die bessere Anordnung von losem Gepäck auf die Beladezeit hat, ist aufgrund von fehlenden Daten schwer abzuschätzen. Eine Nutzung für Airlines mit besonders kurzem Turnaround und losem Gepäck (Low-Cost-Airlines) wäre denkbar. Aber auch bei besonders sperrigem Gepäck, welches nicht in einen Container geladen werden kann, ergeben sich Einsatzmöglichkeiten des Systems.

In der Praxis wurden bei Virgin Atlantic in einer sechswöchigen Testphase Premium Kunden am Flughafen London Heathrow von Service-Kräften mit Wearables betreut. So konnten sie den Kunden persönlich ansprechen und besser auf dessen individuellen Flug eingehen, wie etwa Reiseinformationen und das aktuelle Wetter des Reiseziels. [69]

6.4 Autonomeres Cargo Compartment

Für das Be- und Entladen des Cargo Compartments sind viele Handgriffe nötig (siehe Abschnitt 4.4). Einige dieser Tätigkeiten der Gepäcklader könnten durch eine bessere Automatisierung der Prozesse ersetzt werden.

Ein Prozess, der gut automatisiert werden könnte, ist das Öffnen der Frachttür. Diese muss bisher manuell geöffnet (Diagramm 4.7) und geschlossen werden. Denkbar wäre ein automatisches Öffnen, falls sich ein Cargo Loader oder ein Gepäckband in der richtigen Position vor der Tür befindet. Lediglich das Öffnen im Notfall sollte per Hand möglich sein.

Für den Einsatz von *ULDs* wurde in Abschnitt 5.3.7 bereits ein Konzept über ein automatisches Beladen des Frachtraums vorgestellt. Durch die Identifikation von einzelnen Gepäckstücken und den zusätzlichen Angaben über Abmessungen aus dem vorherigen Abschnitt, ist eine Positionsbestimmung im Frachtraum möglich. Beispiele wurden in Abschnitt 5.3.5 und 5.3.6 bereits vorgestellt. In Verbindung mit einem variablen Transportmechanismus im Boden, könnten Koffer nach der Ankunft im Frachtraum automatisch auf die vorher bestimmte Position transportiert werden. Denkbar wären einzeln steuerbare und drehbare Rollen im Boden. Dem Gepäckabfertiger könnte so das Schieben von Gepäckstücken über den Boden abgenommen werden. Zu Beginn würde die unterste Ebene an Koffern fast automatisch angeordnet (ähnlich den roten Koffern aus Abbildung 6.9). Die Koffer, die auf eine höhere Ebene gelegt werden müssen, werden anschließend in die Nähe transportiert, so dass der Arbeiter das Gepäckstück greifen und direkt stapeln kann. Falls die Gepäckstücke nicht im Vorhinein für den Frachtraum angeordnet wurden, könnten die Koffer in den Dollies mit einem Handscanner erfasst werden und die Daten an das Steuerungssystem des Frachtraums übermittelt werden. Dieses berechnet nun die optimale Verteilung und transportiert die Gepäckstücke dementsprechend im Frachtraum (siehe Abbildung 6.10). Dadurch wäre eine schneller Beladezeit möglich, da mehrere Gepäckstücke gleichzeitig transportiert werden können. Als Vorteil gegenüber der

Ramp Snake (Abschnitt 5.3.1) kann die gesamte Breite des Frachtraumbodens für den Transport genutzt werden und die Koffer in beliebige Richtungen gefahren werden. Es ist außerdem möglich die tatsächliche Beladung und Verteilung im Frachtraum zu bestimmen und diese im Load und Trim-Sheet zu berücksichtigen.

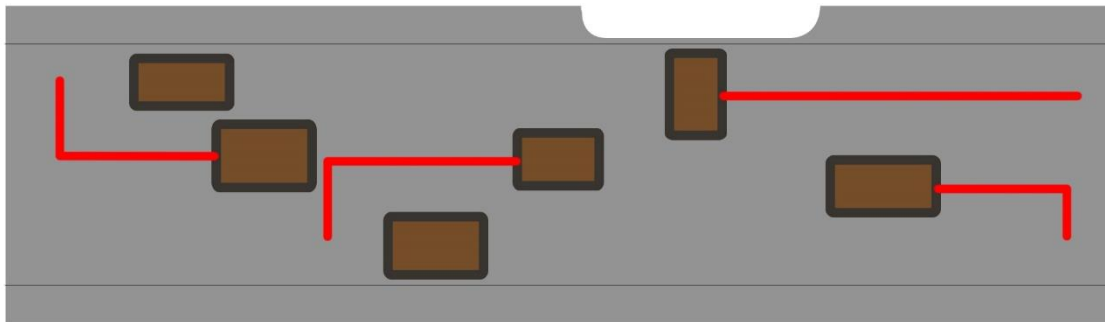


Abbildung 6.10: Autonomes Cargo Compartment

Denkbar wären Zeitersparnisse ähnlich dem Sliding Carpet System (35 – 50 %) aus Abschnitt 5.3.2, falls diese auch in der Praxis erreicht wurden. Möglich wäre außerdem die Einsparung eines Gepäckladers im Frachtraum.

Das Problem besteht in dem gestiegenen Gewicht des Transportmechanismus und den nötigen Lesegeräten für die Positionsbestimmung. Fällt diese Gewichtssteigerung zu groß aus, so kann das System nicht wirtschaftlich genutzt werden. Ob es bereits passende Komponenten für einen solche Einsatz gibt oder ob diese erst entwickelt werden müssen, bleibt ebenfalls zu klären. Auch der Verschleiß und die Wartung der Komponenten ist ungeklärt. Deshalb ist die Einführungswahrscheinlichkeit eines solchen Systems eher gering einzuschätzen. Dagegen spricht auch das bereits bestehende Patent von Airbus (Abschnitt 5.3.7) für ein automatische Beladesystem mit *ULDs*, welches an sich Vorteile gegenüber losen Gepäckstücken bietet.

7 Fazit

In dieser Arbeit wurden die verschiedenen Aspekte des Turnarounds analysiert und Möglichkeiten der Optimierung vorgestellt und entwickelt.

Der Prozess des Boardings lässt sich mit einem zusätzlichen Ablagefach für großes Handgepäck optimieren. So kann das Handgepäck schneller und bequemer verstaut werden. Dadurch können die Passagiere zügig und ohne Wartezeit ihren Sitzplatz einnehmen. Ebenfalls wird ein einfaches Überholen anderer Passagiere, während des Beladens des Fachs, durch die gewählte Position ermöglicht. Durch die Unterstützung des Boardings mit einer App können Passagiere gezielter informiert werden. Sie ermöglicht außerdem die Nutzung von komplexeren, aber effizienteren Boarding-Verfahren. Ein neuer Ansatz besteht in dem vorherigen Reservieren von Handgepäckfächern. Auch diese Funktion könnte durch eine App stattfinden.

Ein Ansatz zur Verbesserung des Be- und Entladens von Gepäck wird in dem erweiterten Einsatz von RFID-Chips gesehen. Durch zusätzliche Informationen über Gewicht und Abmessungen lassen sich einzelne Gepäckstücke besser im Frachtraum anordnen. Dadurch können Prozesse effizienter und weniger schädlich für die Arbeiter gestaltet werden. Der Gepäckabfertiger könnte mit einer Datenbrille zur Nutzung der erweiterten Realität unterstützt werden. Gesuchte Gepäckstücke lassen sich dadurch gezielt lokalisieren und unnötiges Ausladen, für den Fall des „No-Show“, kann verhindert werden. Einen Schritt weiter geht die Idee des autonomen Cargo Compartments. Mit diesem System könnten die Gepäckstücke schneller im Frachtraum transportiert und angeordnet werden. Unnötige Handgriffe entfielen und Prozesszeiten könnten verkürzt werden. Allerdings bestehen Zweifel über eine Einführung des Systems, aufgrund des zusätzlichen Gewichts und einer Alternative für die Nutzung von *ULDs*.

8 Ausblick

Bereits seit 2008 hat sich das Projekt *ASSET* mit einer Verbesserung der Pünktlichkeit an Flughäfen beschäftigt. Die Prozesse sollen ganzheitlich betrachtet und optimiert werden. Dabei werden auch die Ziele von *ACARE Vision 2020* betrachtet. Dazu zählen eine Pünktlichkeit von 99 % der Flüge in einem Zeitfenster von 15 Minuten, um die geplante Abflug- oder Ankunftszeit, bei allen Wetterverhältnissen zu erreichen. Außerdem ein maximal 15-minütiger Aufenthalt der Passagiere vor Abflug oder nach Ankunft eines Kurzstrecken-Fluges am Flughafen.

Das Projekt *TITAN* (Turnaround Integration in Trajectory and Network) sollte die Vorhersehbarkeit, Stabilität und Effektivität von Turnarounds verbessern. Es geht dabei auch auf die landseitige Anbindung ein. So sollen Staus auf Zubringerstraßen und Schlangen vor den Sicherheitskontrollen ebenfalls in die Planung des Turnarounds integriert werden. Es kann als Weiterentwicklung des Airport Collaborative Decision Making (*A-CDM*) gesehen werden. In das System werden weitere Prozesse einbezogen, welche nicht direkt zum Turnaround gehören, aber dennoch einen Einfluss auf diesen haben. Ziel ist die bessere Vernetzung aller Beteiligten für einen effizienteren Ablauf des gesamten Turnaroundprozesses mit definierten Warnungen und Anweisungen, falls eine Verspätung droht. Der aktuelle Status des Fluges soll für alle Beteiligten direkt ersichtlich sein. Es ist Teil des *SESAR* (Single European Sky ATM Research) Projekts, welches das gesamte Flugverkehrsmanagement der Zukunft entwickeln soll.

Somit scheinen die bessere Vernetzung und der schnellere Austausch von Informationen der verschiedenen Beteiligten das Konzept der Zukunft zu sein, um Abläufe zu optimieren und Ressourcen einzusparen.

Airbus hat in einem Patent⁴⁰ bereits die Rechte an einer abnehmbaren Passagierkabine gesichert (siehe Abbildung 8.1). Diese würde einen deutlich kürzeren Turnaround ermöglichen. Da die

⁴⁰ US 9,193,460 B2 Method For Boarding And Unloading Of Passengers Of An Aircraft With Reduced Immobilization Time Of The Aircraft, Aircraft And Air Terminal For Its Implementation

Luftfahrtbranche eher konservativ einzuschätzen ist, wird ein solches Konzept in den nächsten Jahrzehnten nicht eingeführt werden. Dieses Verhalten zeigt sich beispielsweise in der Neuauflage des Airbus A320 (A320neo), bei dem neuentwickelte Triebwerke gegenüber dem ursprünglichen Modell angeboten werden. Außerdem wären umfangreiche Umbauten an den Flughäfen nötig, um eine solche Kabine wechseln zu können.

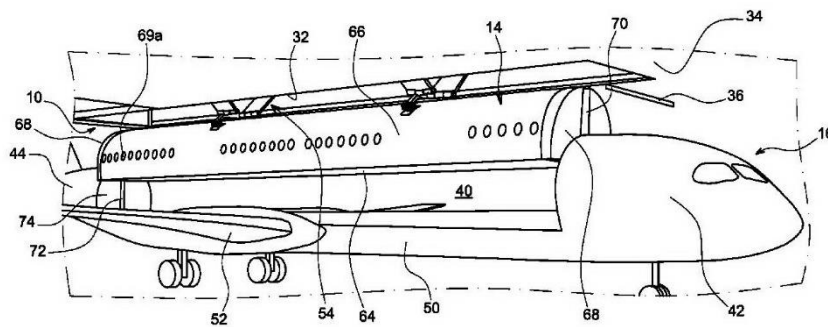


Abbildung 8.1: Airbus Patent US9,193,460 B2 für eine abnehmbare Passagierkabine

Ein völlig anderer Ansatz besteht in dem *DTA* (Drive Through Airport). Dieses Konzept sieht die Abfertigung von Flugzeugen in einer Art Boxenstopp. Das Flugzeug wird durch drei verschiedene Stationen (Arrival, Service, Departure) gezogen, an denen jeweils ein Prozess besonders effizient durchgeführt werden kann. Dadurch haben Service-Fahrzeuge kürzere Wege zurückzulegen und die Gefahr von Kollisionen wird gesenkt. Jede Station ist speziell für einen Abfertigungsschritt ausgestattet und kann diesen bestmöglich durchführen. Gleichzeitig werden weniger Abstellpositionen gebraucht, was die benötigte Fläche reduziert. Dies ist besonders für Flughäfen, die knapp an ihren Kapazitätsgrenzen arbeiten, wie beispielsweise London Heathrow, interessant. Ein solches Flughafen-Design würde außerdem die Planung der unterschiedlichen Dienstleister deutlich vereinfachen. Dieses Konzept könnte verschiedene Flugzeugklassen deutlich schneller abfertigen und gleichzeitig einen konstanten Turnaround ermöglichen. Eine Prinzipskizze ist in Abbildung 8.2 dargestellt. Besonders der unterschiedliche Aufbau des Flughafens wird hier deutlich.

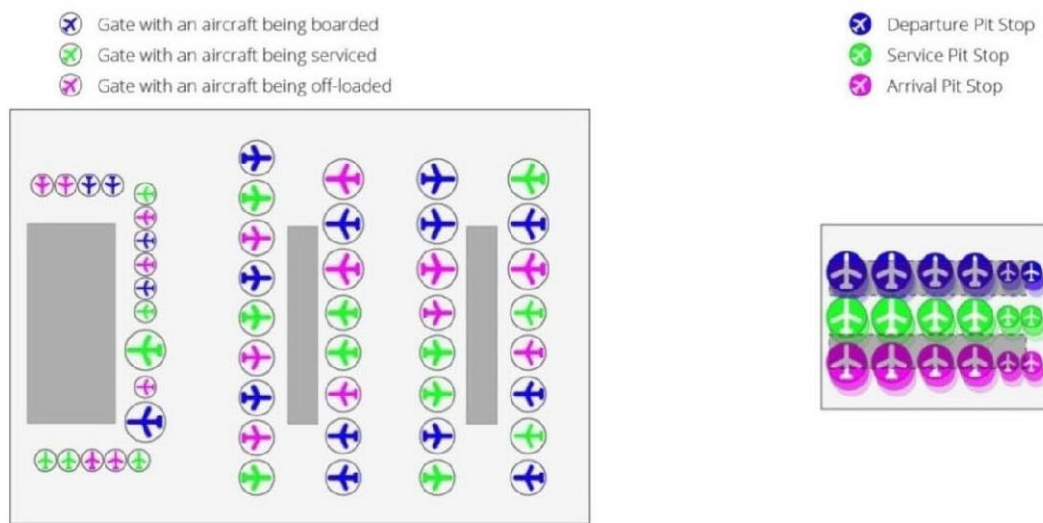


Abbildung 8.2: Konzept Drive Through Airport (rechts) im Vergleich zum normalen Flughafen-Layout (links) [70]

Für die nahe Zukunft sieht der Autor ein Potenzial in dem Konzept für neu angelegte Flughäfen oder neu errichtete Terminals, da ein bestehender Flughafen nicht umgebaut werden kann. Ergänzt werden könnte es durch eine komplett neue Flugzeugstruktur, wie sie bereits von Airbus vorgeschlagen wurde. Aber auch kleinere Veränderungen im Ablauf könnten den Turnaround optimieren. Einige Vorschläge wurden in dieser Arbeit bereits vorgestellt und sind wesentlich schneller einzuführen.

Im Bezug auf das Konzept in 6.1 könnten sich weitere Untersuchungen mit dem Stauraum in der Kabine beschäftigen. Interessant wäre das Verhältnis von Ablagefläche zu Passagierzahl und ob sich dieses Verhältnis über die Jahre ähnlich verändert hat, wie die Zunahme an Handgepäck. Weiteres Interesse gilt den Laufwegen der Passagiere in der Kabine und die Möglichkeit des Vorbeilaufens (Überholen) im Gang und deren Einfluss auf die Boarding-Dauer.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Airbus, „Global Market Forecast - Mapping Demand 2016 - 2035,“ Airbus, 2016.
- [2] Airbus, „A320 Family - The market leader,“ Blagnac Cedex, 2012.
- [3] Airbus, „Airbus offers added seating capacity for the A320 Family while retaining modern comfort standards,“ [Online]. Available:
<http://www.airbus.com/newsevents/news-events-single/detail/airbus-offers-added-seating-capacity-for-the-a320-family-while-retaining-modern-comfort-standards/>.
[Zugriff am 25 Juli 2016].
- [4] D. J. Roskam, *Airplane Design: Part III*, Ottawa, Kansas, 1989.
- [5] A. Schlegel, *Bodenabfertigungsprozesse im Luftverkehr*, Wiesbaden: Springer, 2010.
- [6] Airbus, „Airbus A320 Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning,“ 2015.
- [7] B. Oreschko, M. Schultz, J. Elflein und H. Fricke, „Significant Turnaround Process Variations due to Airport Characteristics,“ Dresden, 2010.
- [8] A. Steiner und M. Philipp, „Speeding up the airplane boarding process by using pre-boarding areas,“ in *9th Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità / Ascona, 2009.
- [9] J. C. Fuchte, „Enhancement of Aircraft Cabin Design Guidelines with Special Consideration of Aircraft Turnaround and Short Range Operations,“ Hamburg, 2014.
- [10] M. Mirza, „Economic Impact of Airplane Turn-Times,“ *Aero*, Bd. 04, pp. 14-19, 2008.
- [11] Eurocontrol, „Performance Review Report 2005,“ 2005.
- [12] H. S. Appel, „Analyse der Verzögerungen beim Boarding von Flugzeugen und Untersuchung möglicher Optimierungsansätze,“ 2014.
- [13] K. Aguanno, „The Agile PM,“ [Online]. Available:
<http://www.agilepm.com/downloads/CPMdefinition.pdf>. [Zugriff am 21 Juli 2016].
- [14] C.-L. Wu und R. E. Caves, „Modelling And Simulation Of Aircraft Turnaround Operations At Airports,“ *Transportation Planning and Technology*, pp. 25-46, Februar 2004.
- [15] D. Scholz, „Flugzeugkabine/Kabinensysteme die nächsten Schritte,“ DGLR, Bonn, 2001.
- [16] D. R. Sánchez, „Analysis of Ground Handling Characteristics of Innovative Aircraft Configurations,“ 2009.
- [17] Y. L. Tan, „Differences in Ground Handling in the Global Market,“ Hamburg, 2010.

- [18] Airbus, „A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual CCM Airlines,“ 2002.
- [19] H. Fricke und M. Schultz, „Improving Aircraft Turn Around Reliability“.
- [20] S. Adeleye und C. Chung, „A Simulation Based Approach For Contingency Planning For Aircraft Turnaround Operation System Activities In Airline Hubs,“ *Journal of Air Transportation*, pp. 140-154, 2006.
- [21] H. Ottermann, „Analyse von Ladevorgängen als Bestandteil der Flugzeugabfertigung,“ 2012.
- [22] LTU, „Ground Operations Manual Airbus Industrie A320 / A321,“ 2003.
- [23] H. Mensen, Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen, Rüsselsheim: Springer, 2013.
- [24] V. A. Cargo, „Airbus A320 Family Configuration,“ 2006. [Online]. Available: http://www.vietjetaircargo.com/wp-content/uploads/320_321presentation.pptx. [Zugriff am 27 Juli 2016].
- [25] S. V. Korkmaz, J. A. Hoyle, G. G. Knapik, R. E. Splitterstoesser, G. Yang, D. R. Trippany, P. Lahoti, C. M. Sommerich, S. A. Lavender und W. S. Marras, „Baggage handling in an airplane cargo hold: An ergonomic intervention study,“ Columbus, 2006.
- [26] T. Horstmeier und F. de Haan, „Influence of ground handling on turn round ime of new large aircraft,“ *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Bd. 3, pp. 266-270, 2001.
- [27] D. Scholz, P. Krammer und D. R. Sánchez, „Schlussbericht: FHprofUnd-Projekt "ALOHA",“ Hamburg, 2011.
- [28] F. Jaehn und S. Neumann, „Airplane boarding,“ *European Journal of Operational Research*, Nr. 244, pp. 339-359, 2014.
- [29] S. Marelli, G. Mattocks und R. Merry, „The Role of Computer Simulation in Reducing Airplane Turn Time,“ *Aero*, Nr. 1, 1998.
- [30] H. Van Landeghem und A. Beuselinck, „Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach,“ *European Journal of Operational Research*, Bd. 142, pp. 294-308, 2002.
- [31] M. H. L. Van den Briel, R. Villalobos, G. L. Hogg, T. Lindemann und A. V. Mulé, „America West Airlines Develops Efficient Boarding Strategies,“ *Interfaces*, Bd. 35, Nr. 3, pp. 191-201, 2005.
- [32] P. Ferrari und K. Nagel, „Robustness of Efficient Passenger Boarding in Airplanes,“ 2004.
- [33] J. H. Steffen, „Optimal boarding method for airline passengers,“ Batavia, 2008.
- [34] J. H. Steffen und J. Hotchkiss, „Experimental test of airplane boarding methods,“ *Journal of Air Transport Management*, Nr. 18, pp. 64-67, 2012.

- [35] T. F. Carpet, „The Flying Carpet,“ [Online]. Available: <http://the-flying-carpet.com/>. [Zugriff am 8 Januar 2017].
- [36] T.-Q. Tang, Y.-H. Wu, H.-J. Huang und L. Caccetta, „An aircraft boarding model accounting for passengers' individual properties,“ *Transportation Research Part C*, Nr. 22, pp. 1-16, 2012.
- [37] „Sii Deutschland,“ [Online]. Available: http://www.sii-engineering.de/de/projekte_passenger_seat. [Zugriff am 26 August 2016].
- [38] H. Hamburg, „Airport 2030,“ Hamburg, 2014.
- [39] A. Bachmat, D. Berend, L. Sapir, S. Skiena und N. Stolyarov, „Analysis of Airplane Boarding Times,“ 2009.
- [40] D. C. Nyquist und K. L. McFadden, „A study of the airline boarding problem,“ *Journal of Air Transport Management*, Nr. 14, pp. 197-204, 2008.
- [41] C. Seidler, „Spiegel Online,“ 4 März 2008. [Online]. Available: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/schnelleres-boarding-nie-mehr-stau-am-flieger-a-538970.html>. [Zugriff am 25 August 2016].
- [42] tripadvisor, „SeatGuru Guide To Airline Boarding Procedures,“ [Online]. Available: https://www.seatguru.com/articles/boarding_procedures.php. [Zugriff am 27 August 2016].
- [43] Z. Berdowski, F. van den Broek-Serlé und J. Jetten, „Survey on standard weights of passengers and baggage, Final report,“ Zoetermeer, 2009.
- [44] easyJet, „Gepäck,“ [Online]. Available: <http://www.easyjet.com/de/hilfe/vorbereitung-fur-den-flug/gepack>. [Zugriff am 19 Oktober 2016].
- [45] Boeing, „Boeing's new Space Bins for the 737 hold 50% more bags,“ [Online]. Available: <http://www.boeing.com/commercial/737max/space-bins/>. [Zugriff am 12 Oktober 2016].
- [46] Airbus, „Airbus launches new pivoting overhead carry-on stowage bins for A320 Family with order from Delta Air Lines,“ 16 September 2014. [Online]. Available: <http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/airbus-launches-new-pivoting-overhead-carry-on-stowage-bins-for-a320-family-with-order-from-delta-ai/>. [Zugriff am 17 Oktober 2016].
- [47] P. Stow, „Extendable belt loading system,“ [Online]. Available: <http://www.powerstow.com/en-gb/product/product-features.aspx>. [Zugriff am 04 Oktober 2016].
- [48] D. Riley, „Reducing the risks associated with the manual handling of air passenger baggage for narrow bodied aircraft,“ Health and Safety Executive, Buxton.

- [49] Telair, „Sliding Carpet Product Sheet,“ [Online]. Available: <http://telair.com/wp-content/uploads/2015/07/Telair-product-sheet-sliding-carpet.pdf>. [Zugriff am 10 September 2016].
- [50] „Airliners.net,“ [Online]. Available: <http://www.airliners.net/forum/viewtopic.php?t=749265>. [Zugriff am 10 September 2016].
- [51] Airbus, „Airbus Press Centre,“ 10 Juni 2013. [Online]. Available: <http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/airbus-competition-showcases-disruptive-new-ideas-for-future-aviation-industry/>. [Zugriff am 16 November 2016].
- [52] C. R. Sturtz und P. J. McCallin, „Automatic Level Device“. USA Patent 4,662,809, 05 May 1987.
- [53] C. J. Olin, B. A. Reed, W. Larson, S. Senger und C. M. Larson, „Aircraft Cargo Locating System“. USA Patent US 7,198,227 B2, 3 April 2007.
- [54] W. J. Eadie, „Aircraft Load Management System For Interior Loads“. USA Patent US 8,694,235 B2, 8 April 2014.
- [55] U. Panzram und V. Hasbach, „Fully Automated Cargo Loading System“. USA Patent US 8,788,085 B2, 22 Juli 2014.
- [56] T. C. o. I. C. A. ICAO, „ICAO,“ [Online]. Available: http://www.icao.int/safety/airnavigation/NationalityMarks/annexes_booklet_en.pdf. [Zugriff am 13 Oktober 2016].
- [57] M. V. Abritta, J. Thorbeeck und B. S. d. Mattos, „Study of a Lower-deck Galley for Airliners,“ 2012.
- [58] D. R. Sánchez, „Literature Review on Proposals for a Turnaround and Ground Handling Optimized Aircraft,“ 2011.
- [59] Lufthansa, „Lufthansa Media Pool A320 Sitzplan,“ [Online]. Available: https://www.lufthansa.com/mediapool/pdf/32/media_530973332.pdf. [Zugriff am 17 Oktober 2016].
- [60] DLR/ASSET, „ASSET - Aeronautic Study on Seamless Transport,“ 2008.
- [61] FAA, „AC121-29B Carry-On-Baggage,“ 2000.
- [62] ATR, „600 Series - The Latest Generation Turboprop,“ Blagnac Cedex, 2014.
- [63] Boeing, „Cabin app-titude,“ Boeing, [Online]. Available: http://www.boeing.com/features/2016/08/cabin-telligence_15-16.page. [Zugriff am 13 September 2016].
- [64] L. S. G. & C. KG, „BoardConnect: Run the future, not cables,“ Raunheim, 2015.

- [65] A. West, „Andrew West Photography,“ [Online]. Available: <http://www.andrewwestphotography.com/for-photographers/equipment/bataflae-18-litre-day-pack/>. [Zugriff am 20 Dezember 2016].
- [66] IATA, „Guidance on Introducing Radio Frequency Identification (RFID),“ Montreal, 2013.
- [67] A. Morrow, „Delta introduces innovative baggage tracking process,“ 28 April 2016. [Online]. Available: <http://news.delta.com/delta-introduces-innovative-baggage-tracking-process-0>. [Zugriff am 13 September 2016].
- [68] Lufthansa, „Fliegen. Weitergedacht: Digitale Gepäckservices,“ [Online]. Available: <http://www.lufthansa.com/de/de/digitale-gepaeck-services>. [Zugriff am 13 September 2016].
- [69] SITA, „Virgin Atlantic first in world to use wearable technology to serve passengers,“ 11 Februar 2014. [Online]. Available: <https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/virgin-atlantic-first-in-world-to-use-wearable-technology-to-serve-passengers>. [Zugriff am 04 Oktober 2016].
- [70] M. Deri und C. Hoeller, „DTA - Drive Through Airport - Concept For Incresed Efficiency In Terminals And Operations,“ Büro für MEHR, 2013.

10 Anhang

Ground Support Equipment	
AC	AIR CONDITIONING UNIT
AS	AIR START UNIT
BULK	BULK TRAIN
CAT	CATERING TRUCK
CB	CONVEYOR BELT
CLEAN	CLEANING TRUCK
FUEL	FUEL HYDRANT DISPENSER or TANKER
GPU	GROUND POWER UNIT
LDCL	LOWER DECK CARGO LOADER
LV	LAVATORY VEHICLE
PBB	PASSENGER BOARDING BRIDGE
PS	PASSENGER STAIRS
TOW	TOW TRACTOR
ULD	ULD TRAIN
WV	POTABLE WATER VEHICLE

Abbildung 10.1: Airbus A320 Ground Support Equipment Abkürzungen

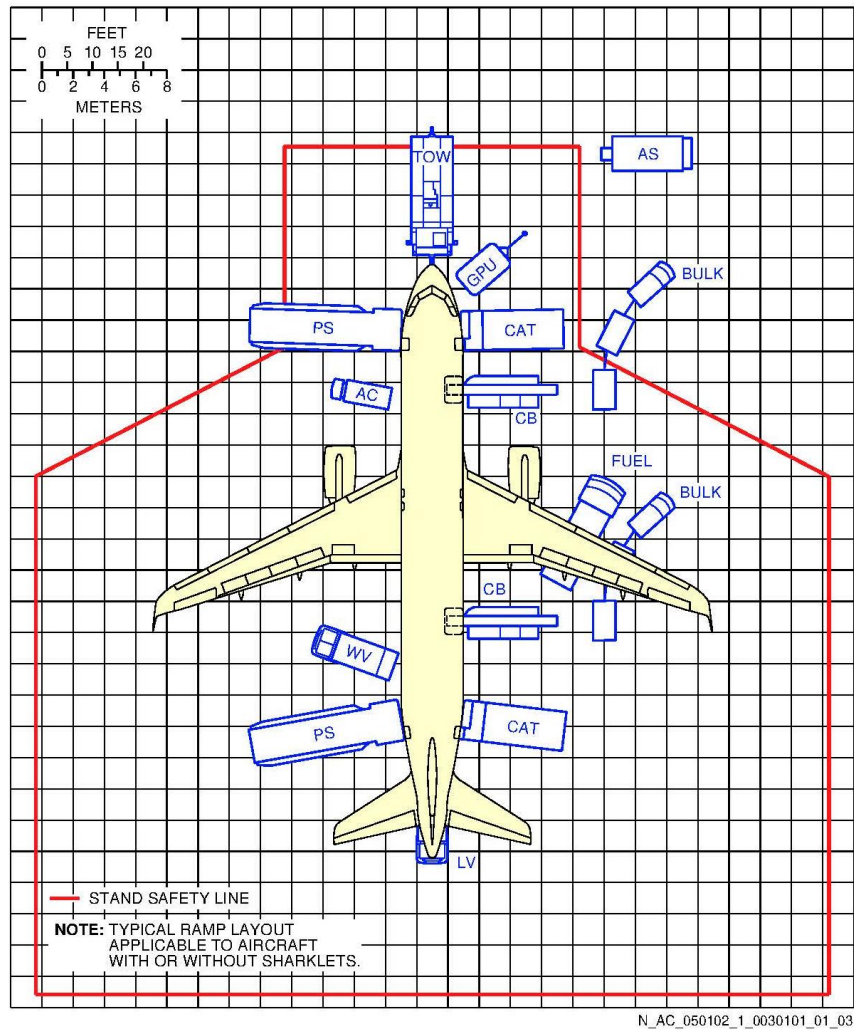


Abbildung 10.2: A320 Servicing Arrangements Apron Bulk Loading [6]

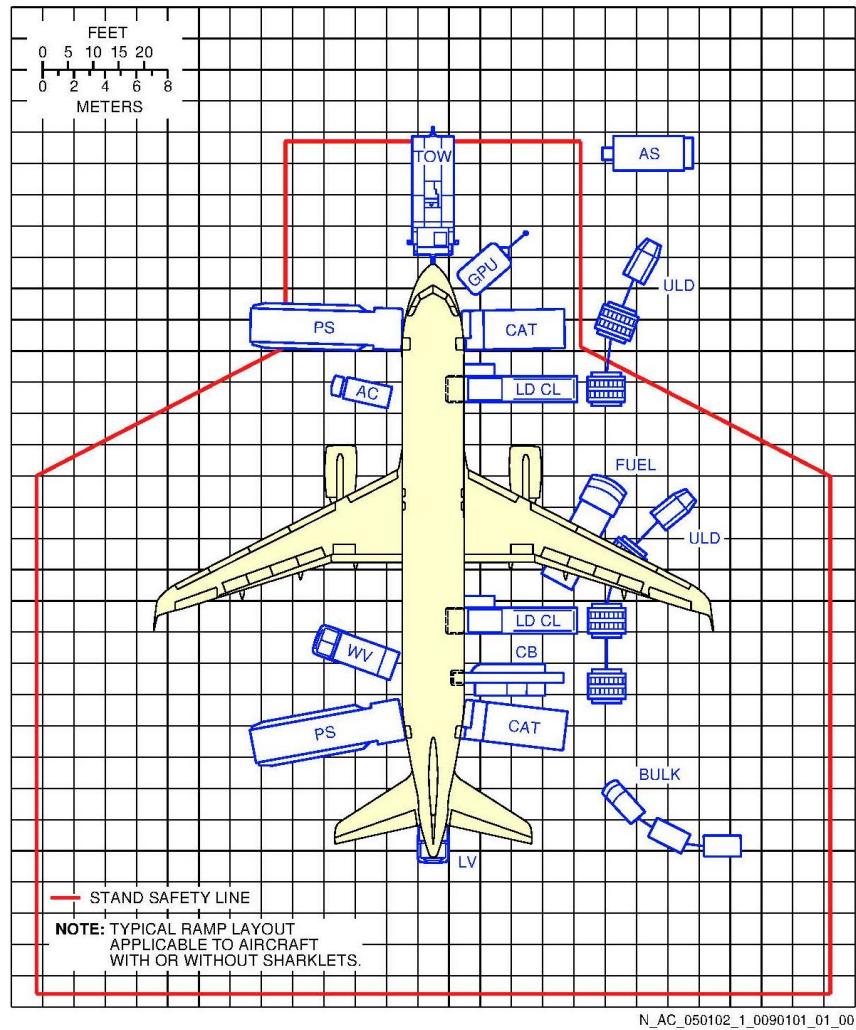
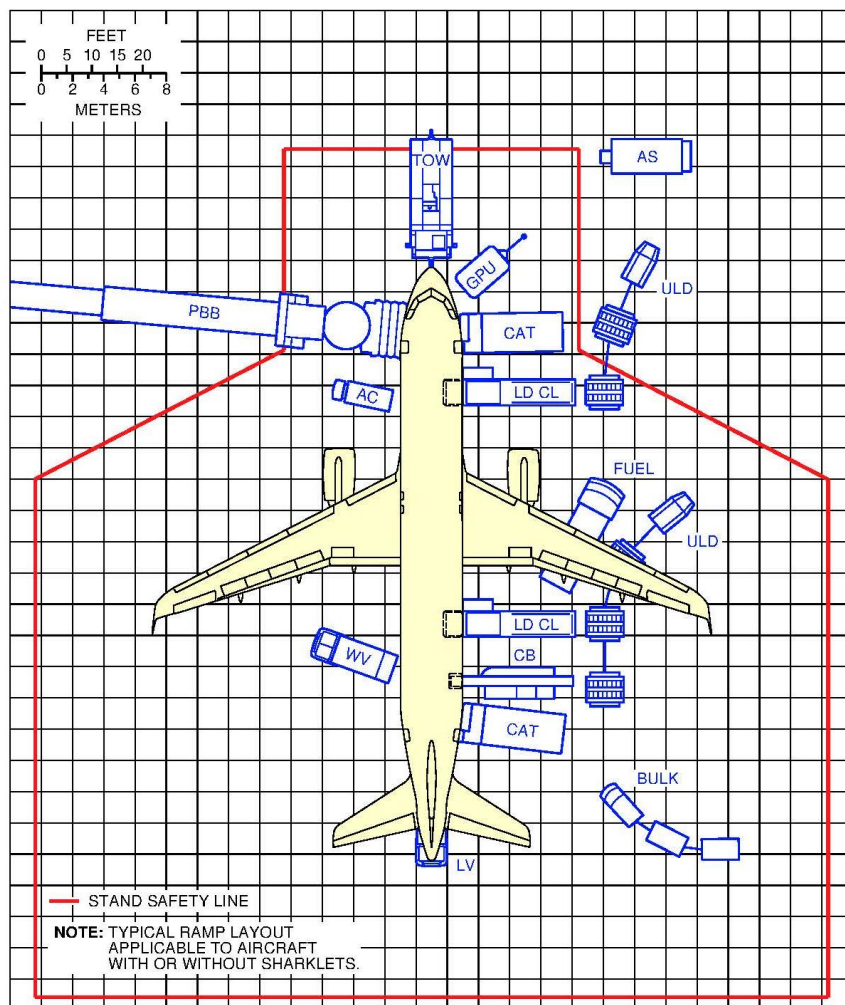


Abbildung 10.3: A320 Servicing Arrangements Apron ULD Loading [6]



N_AC_050103_1_0020101_01_03

Abbildung 10.4: A320 Servicing Arrangements Gate ULD Loading [6]

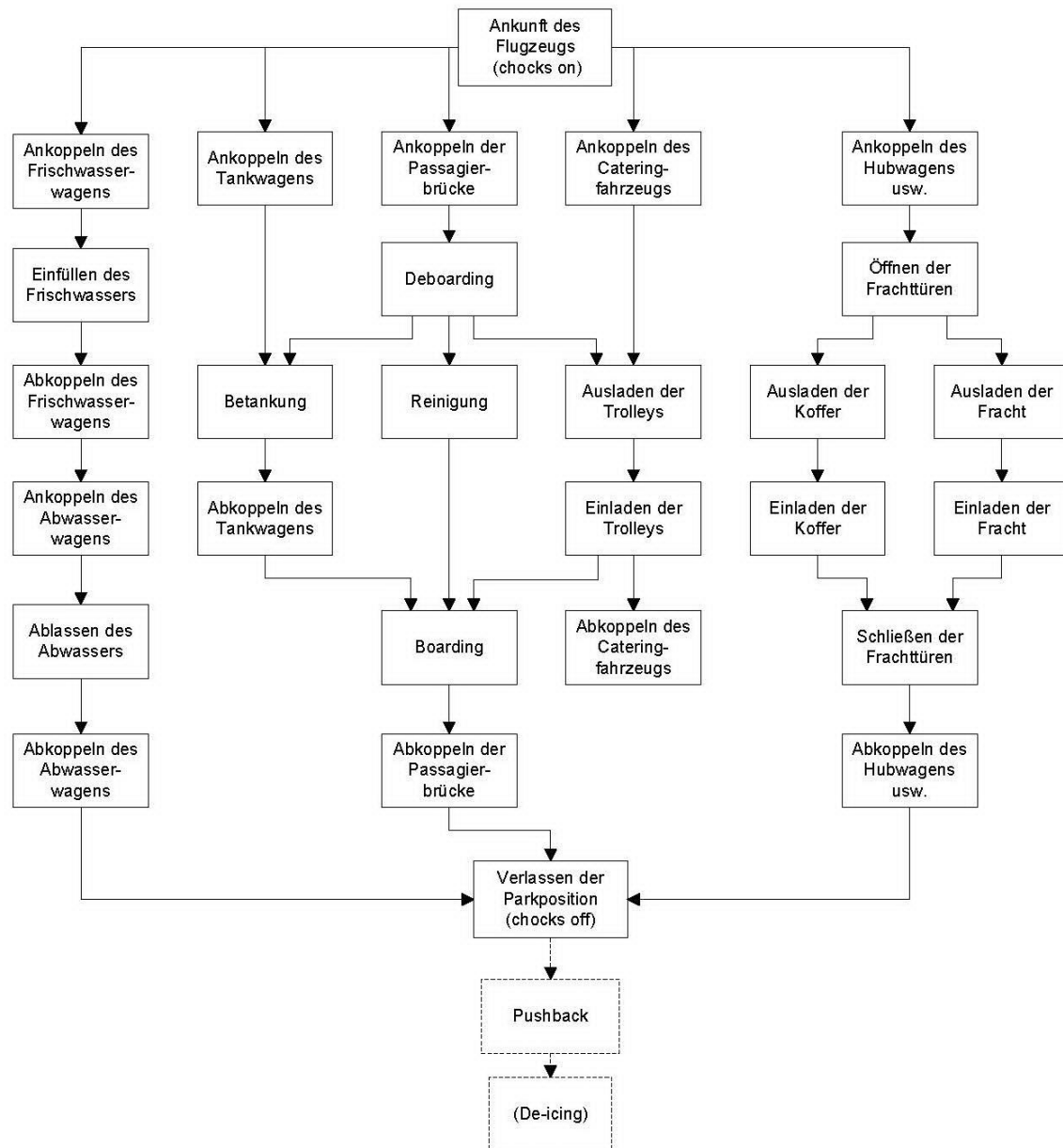



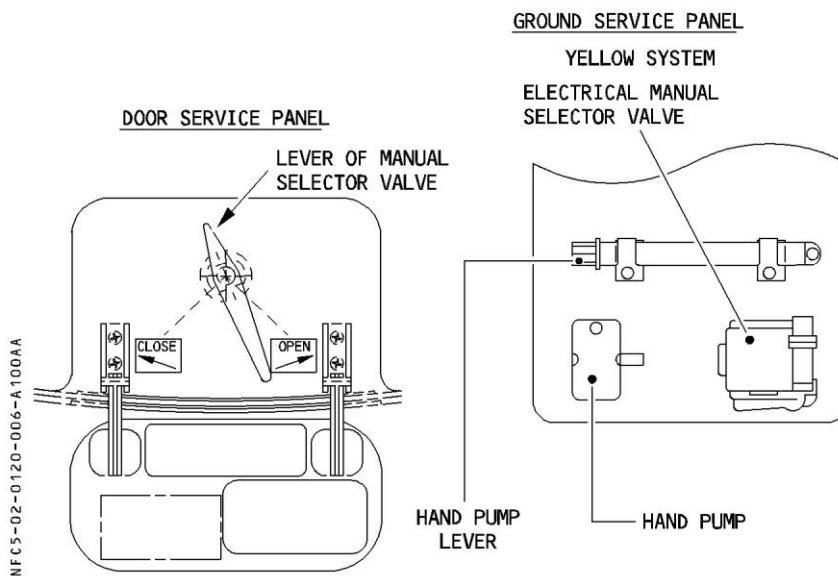
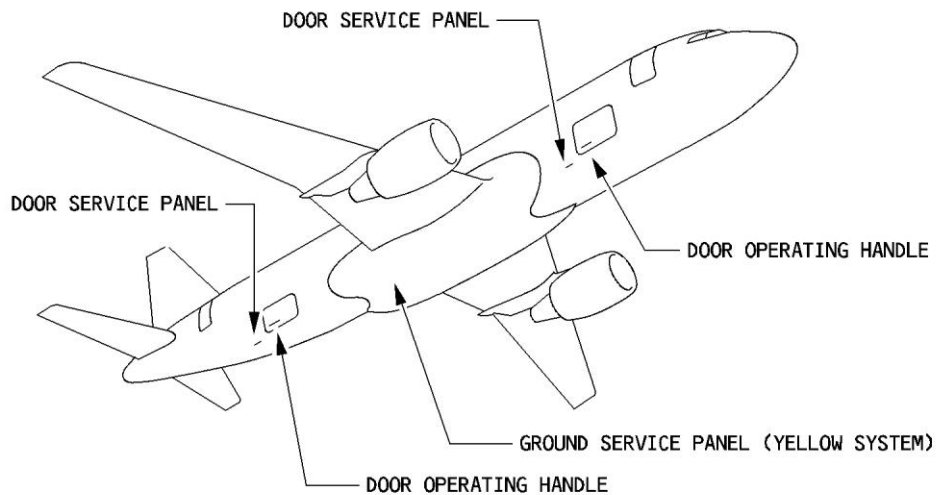
Abbildung 10.5: Ablauf des Turnarounds [12] (in Anlehnung an [26])

Boarding-Methode	Parameter
Rotating-Zone	<ul style="list-style-type: none"> + geringfügig bessere Ausnutzung des Gangs 0 ähnliche Anzahl an Boarding-Gruppen 0 ähnlich komplex/verständlich - ungenutzter Platz zwischen Boarding-Gruppen
Random mit Sitzplatzreservierung	<ul style="list-style-type: none"> + bessere Ausnutzung des Gangs + einfache Durchführung (nur eine Boarding-Gruppe) + gute Verständlichkeit für die Passagiere - keine Einflussnahme auf Boarding-Reihenfolge möglich
Random ohne Sitzplatzreservierung	<ul style="list-style-type: none"> + bessere Ausnutzung des Gangs + Passagiere können Sitzplatz frei wählen + sehr einfaches Prinzip - stressig für Passagiere (wenn z.B. Passagiere zusammen sitzen möchten) - keine Einflussnahme auf Boarding-Reihenfolge möglich
Outside-In	<ul style="list-style-type: none"> + bessere Ausnutzung des Gangs (ähnlich zu Random) + keine Reiheninterferenzen 0 ähnliche Anzahl an Boarding-Gruppen - Passagiere müssen sich trennen
Reverse-Pyramid	<ul style="list-style-type: none"> + bessere Ausnutzung des Gangs + keine Reiheninterferenzen - komplizierter Boarding-Ablauf - mehr Gruppen/Aufwand - Passagiere müssen sich trennen
Platzgenaues Boarding	<ul style="list-style-type: none"> + gute Steuerbarkeit des Boardings + sehr schnelles Boarding - jeder Passagier muss separat aufgerufen werden - sehr komplexes System - Passagiere müssen sich trennen

Abbildung 10.6: Einflüsse⁴¹ auf Boarding-Methoden im Vergleich zu Back-To-Front [12]

⁴¹ +: Prozessverbesserung, -: Prozessverschlechterung, 0: Unverändert

 CCM Airlines FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	LOADING CARGO LOADING	2.01.20	P 6
		SEQ 100	REV 26

LOCATION OF SERVICE PANELS

CCM ALL

Abbildung 10.7: Cargo Compartment Service Panel [18]

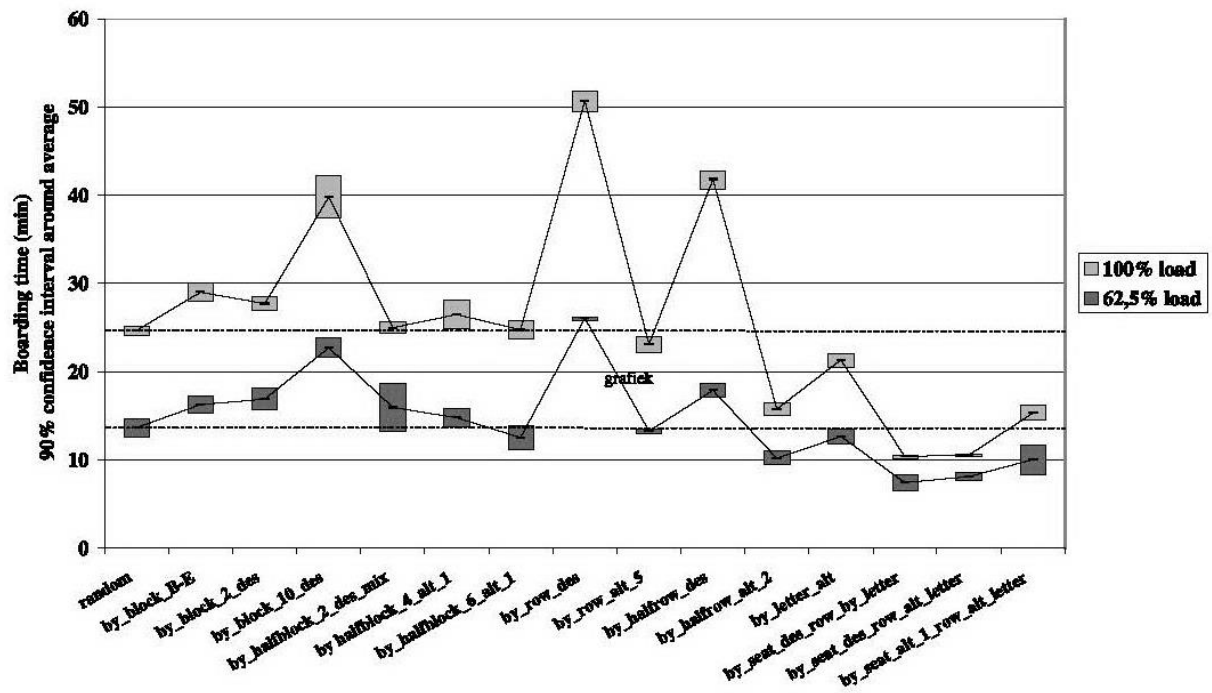


Diagramm 10.1: Boarding-Dauer bei unterschiedlicher Auslastung [30]

Vorne						
	1	1		1	1	
	1	1		1	1	
	1	1		1	1	
4	5	6		6	5	4
4	5	6		6	5	4
4	5	6		6	5	4
4	5	6		6	5	4
3	4	6		6	4	3
3	4	6		6	4	3
3	4	6		6	4	3
3	4	6		6	4	3
2	4	6		6	4	2
2	4	6		6	4	2
2	4	6		6	4	2
2	4	6		6	4	2
2	4	5		5	4	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2

*Abbildung 10.8: Reverse Pyramid
Boarding für America West Airline [31]*

Vorne						
42						56
14						28
41						55
13						27
40						54
12						26
39						53
11						25
38						52
10	66					24
37						51
9	65					23
36						50
8	64					22
35						49
7	63					21
34						48
6	62					20
33						47
5	61					19
32						46
4	60					18
31						45
3	59					17
30						44
2	58					16
29						43
1	57					15

Abbildung 10.9: Steffen Methode [33]

Vorne						
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2
3	3	3		4	4	4
1	1	1		2	2	2

*Abbildung 10.10: Modifizierte Steffen
Methode [33]*

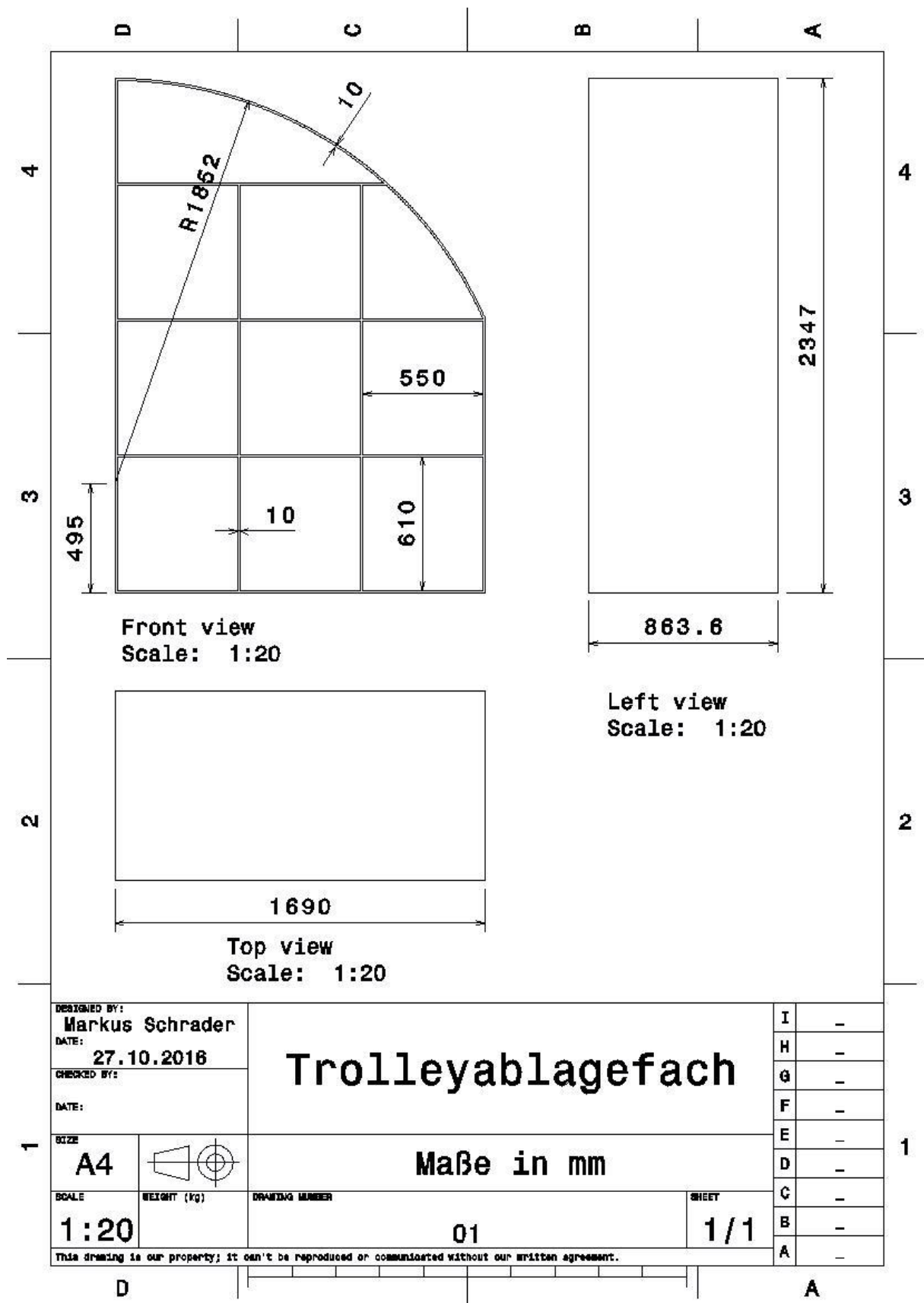


Abbildung 10.11: Skizze des zusätzlichen Gepäckfachs